СТИВЕН ХОКИНГ

АМФОРА

ТЕОРИЯ ВСЕГО

Происхождение и судьба Вселенной

ТЕОРИЯ ВСЕГО

СТИВЕН ХОКИНГ

ТЕОРИЯ ВСЕГО

Происхождение и судьба Вселенной

санкт-петербург
АМФОРА
2009

УДК 524.8
ББК 22.68
Х 70

STEPHEN HAWKING
The Theory of Everything
The Origin and Fate of the Universe

Перевел с английского И. И. Иванов

Научный редактор Г. А. Бурба

Издательство выражает благодарность литературному агентству Goumen & Smirnova за содействие в приобретении прав

Original English language edition published by Phoenix Books and Audio

Защиту интеллектуальной собственности и прав издательской группы «Амфора» осуществляет юридическая компания «Усков и Партнеры»

Хокинг С.

Х 70 Теория всего. Происхождение и судьба Вселенной / Стивен Хокинг; [пер. с англ. И. Иванова; под ред. Г. Бурбы]. — СПб.: Амфора. ТИД Амфора, 2009. —148 с.

ISBN 978-5-367-00991-0 (рус.)
ISBN 1-59777-554-1 (англ.)

Эта книга объединила семь лекций всемирно знаменитого ученого, посвященных происхождению Вселенной и представлениям о ней — от Большого Взрыва до черных дыр и теории струн. А главное, тому, как создать на основе частных физических теорий великую объединенную теорию всего.

УДК 524.8
ББК 22.68

ISBN 978-5-367-00991-0 (рус.)
ISBN 1-59777-554-1 (англ.)

© Phoenix Books and Audio, 2008
© Перевод на русский язык, оформление, издание на русском языке. ЗАО ТИД «Амфора», 2009

ВВЕДЕНИЕ

В этой серии лекций я попытаюсь вкратце обрисовать историю Вселенной, какой она нам представляется, от Большого Взрыва до черных дыр. Первая лекция содержит краткий обзор существовавших в прошлом представлений о строении мира и рассказ о том, как мы пришли к современной картине. Так что эту лекцию можно назвать хроникой теорий об истории Вселенной.

Вторая лекция объяснит, как теории гравитации Ньютона и Эйнштейна привели к заключению, что Вселенная не может быть стационарной — только расширяющейся, либо сжимающейся. Это, в свою очередь, предполагает, что в какое-то время в интервале от 10 до 20 млрд лет тому назад Вселенная имела бесконечную плотность. То был Большой Взрыв, который, по-видимому, стал «началом» существования Вселенной.

В третьей лекции я расскажу о черных дырах. Они формируются, когда массивная звезда или даже более крупное образование схлопывается под действием собственного тяготения. В соответствии с общей теорией относительности Эйнштейна субъекты, имевшие глупость угодить в черную дыру, будут потеряны навсегда. Они уже не смогут оттуда выбраться. В сингулярности черной дыры истории приходит конец. Впрочем, общая теория относительности — это теория классическая, не берущая в расчет принцип неопределенности квантовой механики.

А квантовая механика, как я покажу в четвертой лекции, допускает ускользание энергии из черных дыр. Черные дыры не так уж черны, как их малюют.

В пятой лекции я приложу идеи квантовой механики к Большому Взрыву и возникновению Вселенной. Это подведет нас к идее, что пространство-время может быть конечным по протяженности, но не иметь границы или края. Это было бы похоже на поверхность Земли, имеющую еще два дополнительных измерения. В шестой лекции я растолкую, как это новое предположение о границах способно объяснить разительное отличие прошлого от будущего при том, что законы физики симметричны относительно времени.

Наконец, в седьмой лекции я обращусь к нашим попыткам найти некую объединенную теорию, охватывающую квантовую механику, тяготение и все остальные физические взаимодействия. Если бы мы преуспели в этом, то смогли бы понять Вселенную и наше место в ней.

ПЕРВАЯ ЛЕКЦИЯ

ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ВСЕЛЕННОЙ

Еще в 340 г. до н. э. Аристотель в сочинении «О небе» сформулировал два веских довода в пользу того, что Земля скорее круглая, как шар, нежели плоская, как тарелка. Во-первых, он осознал, что лунные затмения возникают из-за прохождения Земли между Солнцем и Луной. Тень Земли на Луне всегда круглая, а подобное возможно, только если Земля имеет сферическую форму. Будь наша планета плоским диском, тень ее была бы вытянутой, эллиптической, за исключением тех случаев, когда в момент затмения Солнце располагается прямо над центром диска.

Во-вторых, из опыта путешествий древние греки вынесли, что в южных странах Полярная звезда стоит ниже над горизонтом, чем в тех, что лежат ближе к северу. Из разницы видимых положений Полярной звезды в Греции и Египте Аристотель даже вывел приближенное значение окружности Земли — около 400 тыс. стадиев. Мы не знаем точно, чему равнялся древнегреческий стадий. Возможно, он составлял около 180 м. Тогда оценка Аристотеля примерно вдвое превосходит принятое ныне значение.

У древних греков имелся и третий аргумент в пользу шарообразности Земли: почему бы еще наблюдатель на берегу сначала замечал над горизонтом парус приближающегося корабля, а лишь затем — его корпус? Аристотель полагал, что Земля неподвижна, а Солнце, Луна, планеты и звезды

движутся вокруг нее по круговым орбитам. Он считал так, поскольку в силу мистических соображений был убежден, что Земля — центр Вселенной, а круговое движение — самое совершенное.

В I в. н. э. Птолемей развил эти идеи в целостную космологическую модель. Земля располагалась в центре, окруженная восемью сферами, несущими на себе Луну, Солнце, звезды и пять известных в то время планет (Меркурий, Венеру, Марс, Юпитер и Сатурн). Планеты перемещались по малым окружностям, закрепленным на соответствующих сферах, что требовалось для объяснения их весьма сложных наблюдаемых движений по небосклону. На внешней сфере размещались так называемые неподвижные звезды, которые всегда остаются в одинаковом положении относительно друг друга, но все вместе совершают круговое движение по небу. Что лежит за пределами внешней сферы, оставалось неясным, эта область Вселенной не была доступна для наблюдений.

Модель Птолемея позволяла с достаточной точностью предсказывать видимые положения небесных тел. Но для этого пришлось допустить, что Луна, двигаясь по своей траектории, в отдельные моменты подходит к Земле вдвое ближе, чем в другие. А это означало, что периодически Луна должна казаться вдвое больше обычного. Птолемей знал об этом недостатке, тем не менее его модель была принята если не всеми, то абсолютным большинством. Она была одобрена христианской церковью, как картина мира, согласующаяся со Священным Писанием. Большим преимуществом в глазах богословов было то, что эта модель оставляла за пределами сферы неподвижных звезд достаточно места для рая и ада.

Тем не менее в 1514 г. польский каноник Николай Коперник предложил гораздо более простую космологическую теорию. Сначала, опасаясь обвинений в ереси, он обнародовал свою модель анонимно. Он считал, что в центре располагается

неподвижное Солнце, а Земля и остальные планеты обращаются вокруг него по круговым орбитам. К несчастью для Коперника, прошло почти столетие, прежде чем его идеи были приняты всерьез. Лишь тогда два астронома — немец Иоганн Кеплер и итальянец Галилео Галилей — публично выступили в поддержку теории Коперника, несмотря на то что предсказываемые ею движения не вполне совпадали с наблюдаемыми. Теория Аристотеля–Птолемея фактически «умерла» только в 1609 г. В тот год Галилей приступил к изучению ночного неба при помощи недавно изобретенного телескопа.

Наблюдая Юпитер, Галилей заметил, что планету сопровождают несколько небольших спутников (лун), которые обращаются вокруг нее. Это опрокидывало убеждение Аристотеля и Птолемея, что все небесные тела обращаются непосредственно вокруг Земли. Конечно, можно было по-прежнему считать , что Земля покоится в центре Вселенной, а спутники Юпитера движутся вокруг нее по исключительно сложным траекториям, создающим видимость их обращения вокруг Юпитера. Однако теория Коперника была гораздо проще.

Примерно в это же время Кеплер развил модель Коперника, предположив, что планеты движутся не по круговым, а по эллиптическим орбитам. Предсказания теории теперь окончательно совпали с наблюдениями. Однако сам Кеплер рассматривал эллиптические орбиты как искусственную гипотезу, притом весьма досадную, потому что эллипс — фигура не столь совершенная, как круг. Открыв (почти случайно), что эллиптические орбиты соответствуют наблюдениям, Кеплер не мог согласовать это со своей идеей, что планеты обращаются вокруг Солнца под действием магнитных сил.

Объяснение нашлось гораздо позднее, в 1687 г., когда Ньютон опубликовал свои «Математические начала натуральной философии». Это, по-видимому, самый важный из когда-

либо публиковавшихся научных трудов по физике. В нем Ньютон не только развил теорию движения тел в пространстве и времени, но и разработал математический аппарат для анализа этого движения. Вдобавок он сформулировал закон всемирного тяготения. Этот закон гласит, что каждое тело во Вселенной притягивается к любому другому телу с силой, величина которой тем больше, чем массивнее тела́ и чем ближе они находятся друг к другу. Именно эта сила заставляет тела падать на Землю. История же со свалившимся на голову Ньютона яблоком почти наверняка сомнительна. Сам Ньютон упоминает лишь о том, что идея о земном тяготении пришла к нему, когда он, пребывая в созерцательном настроении, заметил падение яблока.

Ньютон показал, что, согласно его закону, тяготение заставляет Луну обращаться по эллиптической орбите вокруг Земли, а Землю и все остальные планеты — следовать по эллиптическим траекториям вокруг Солнца. Модель Коперника покончила с небесными сферами Птолемея, а заодно и с представлением о том, что Вселенная имеет какую-то естественную границу. Так называемые неподвижные звезды не меняют своего взаимного положения при движении Земли вокруг Солнца. Поэтому сама собой напрашивалась мысль, что это объекты, подобные нашему Солнцу, но расположенные гораздо дальше. И это рождало вопросы. Ньютон понимал, что, согласно его собственной теории тяготения, звезды должны притягиваться между собой, а стало быть, не могут оставаться абсолютно неподвижными. Почему же тогда они не упадут друг на друга, собравшись в одну точку?

В письме 1691 г., адресованном Ричарду Бентли, другому видному мыслителю того времени, Ньютон отмечает, что подобное неизбежно случилось бы, будь число звезд конечным. Однако, продолжает он, если бесконечное число звезд распределено более-менее однородно в бесконечном пространстве, такого не может произойти, потому что нет никакой центральной точки, в которую они могли бы упасть. Этот аргумент — пример ловушки, в которую можно угодить, рассуждая о бесконечности.

В бесконечной Вселенной каждая точка может считаться центральной, поскольку в любом направлении от нее находится бесконечное число звезд. Правильный подход, как стало ясно намного позднее, заключается в том, чтобы рассматривать конечную область, в которой все звезды притягиваются друг к другу. Но тогда можно поставить вопрос, что же изменится, если добавить звезд, распределив их приблизительно равномерно за пределами этой области. В соответствии с законом Ньютона эти добавленные звезды не изменят ничего и звезды в ограниченной области будут приближаться друг к другу с прежней скоростью. Можно добавить сколько угодно звезд — коллапс будет неизбежен. Сегодня мы знаем, что невозможно построить бесконечную стационарную модель Вселенной, в которой гравитация всегда оказывает притягивающий эффект.

И вот интересная особенность общего образа мыслей до XX в.: никто не предполагал, что Вселенная расширяется или сжимается. Было принято считать, что она либо существовала вечно в неизменном виде, либо была сотворена некогда в прошлом примерно такой, какой мы видим ее сегодня. Отчасти такие представления могли быть обусловлены склонностью людей верить в вечные истины и находить утешение в мысли, что Вселенная не меняется, пусть сами они стареют и умирают.

Даже понимавшие, что теория тяготения Ньютона не допускает существования стационарной Вселенной, не заходили настолько далеко, чтобы предположить возможность

ее расширения. Вместо этого они пытались подправить теорию, предполагая, что на очень больших расстояниях гравитационная сила отталкивает тела друг от друга. Это почти не сказывалось на прогнозах движения планет, но позволяло уравновесить бесконечное распределение звезд за счет того, что притяжение между близкими звездами компенсировалось отталкиванием между далекими.

Однако теперь мы знаем, что такое равновесие было бы неустойчивым. Стоит звездам в небольшой области Вселенной немного сблизиться, как силы притяжения начнут преобладать над силами отталкивания. В итоге звезды продолжат сближаться друг с другом. С другой стороны, если звезды несколько разойдутся, возобладают силы отталкивания, которые заставят звезды «разбегаться» все дальше.

Еще одно возражение против бесконечной стационарной Вселенной обычно приписывают немецкому философу Генриху Ольберсу. На самом деле проблему поднимали многие современники Ньютона, и вышедшая в 1823 г. статья Ольберса не была первой из содержащих убедительные аргументы. Однако она первой получила широкую известность. Сложность состоит в том, что в бесконечной стационарной Вселенной почти каждая линия или сторона должна заканчиваться на поверхности какой-либо звезды. Отсюда следует, что все небо должно бы светиться как Солнце, притом даже ночью. Ольберс возражал на это, что свет далеких звезд тускнеет, поглощаемый материей, которая встречается на его пути. Однако в таком случае материя, нагреваясь, сияла бы столь же ярко, как сами звезды.

Избежать вывода о том, что все ночное небо должно быть столь же ярким, как поверхность Солнца, можно, только предположив, что звезды не светили вечно, а зажглись в какой-то конечный момент в прошлом. В этом случае межзвездная материя, возможно, еще не успела раскалиться до высоких температур либо свет самых далеких звезд пока что не достиг нашей планеты. И это подводит нас к вопросу о том, что же могло послужить причиной первоначального возгорания звезд.

Разумеется, люди издревле размышляли о зарождении Вселенной. В соответствии с целым рядом ранних космологий иудейского, христианского и мусульманского вероучений Вселенная возникла в конечный, причем относительно недавний, момент прошлого. Одним из доводов в пользу такого начала было убеждение, что объяснить существование Вселенной можно лишь с помощью первопричины.

Другой довод выдвинул Блаженный Августин в своем сочинении «О граде Божием». Он указал на то, что цивилизация развивается и мы помним, кто вершил прогресс и совершенствовал технику. Значит, человечество (и, возможно, Вселенная) существует не так уж давно. Иначе мы добились бы гораздо большего.

Основываясь на библейской Книге Бытия, Блаженный Августин относил сотворение Вселенной примерно к 5000 г. до н. э. Интересно, что эта дата не столь уж далека от окончания последнего ледникового периода (около 10 000 лет до н. э.), когда, по-видимому, зародилась человеческая цивилизация. С другой стороны, Аристотель и большинство древнегреческих философов не жаловали идею о сотворении мира, поскольку она предполагала слишком значительное божественное вмешательство. Следовательно, они верили, что человечество и мир вокруг него существовали и, возможно, будут существовать вечно. Рассматривая аргумент о прогрессе, упомянутый выше, они опровергали его тем, что периодически обрушивающиеся на человечество потопы и прочие катастрофы из раза в раз отбрасывают род человеческий к началу цивилизации.

В те времена, когда большинство людей верило в стационарную и неизменную Вселенную, вопрос о том, имела она начало или нет, принадлежал к области метафизики и теологии. Ответы предлагались самые разные. Кто-то верил, что Вселенная существует вечно, другие полагали, что она была приведена в движение в некий конечный момент времени, причем таким образом, чтобы складывалось впечатление, будто она была вечно. Но в 1929 г. американский астроном Эдвин Хаббл совершил эпохальное открытие, обнаружив, что, куда ни обрати взгляд в космосе, далекие звезды стремительно удаляются от нас. Другими словами, Вселенная расширяется. Это означало, что в далеком прошлом небесные тела находились гораздо ближе друг к другу. Складывалось впечатление, что около 10 или 20 млрд лет назад все они находились в одной точке пространства.

Это открытие окончательно перенесло вопрос о возникновении Вселенной в сферу науки. Наблюдения Хаббла предполагали, что в прошлом существовал момент времени, называемый Большим Взрывом, когда Вселенная была заключена в бесконечно малом объеме и, значит, имела бесконечно большую плотность. Если какие-то события и происходили до того, они не могли повлиять на происходящее ныне. Ими позволительно пренебречь, потому что это не возымеет никаких обозримых последствий.

Можно сказать, что в момент Большого Взрыва началось само время, в том смысле, что никаких более ранних времен установить нельзя. Необходимо подчеркнуть, что это начало времени сильно отличается от всего, что рассматривалось прежде. В неизменной Вселенной начало времени — это нечто навязываемое чем-то находящимся за пределами Вселенной. Нет никакой физической необходимости в таком начале. Можно просто верить, что Бог создал Вселенную буквально в любой из моментов прошлого. С другой стороны,

если Вселенная расширяется, то могут существовать физические причины того, почему должно быть начало. Можно полагать, что Бог создал Вселенную в мгновение Большого Взрыва. (Или позднее, но таким образом, чтобы казалось, будто произошел Большой Взрыв.) Однако было бы бессмысленно думать, будто Вселенная сотворена до Большого Взрыва. Расширяющаяся Вселенная не отменяет возможности существования Творца, но ограничивает Его деятельность некоторыми временными рамками.

ВТОРАЯ ЛЕКЦИЯ

РАСШИРЯЮЩАЯСЯ ВСЕЛЕННАЯ

Наше Солнце и ближайшие к нему звезды составляют часть обширного звездного скопления, называемого нашей Галактикой, или Млечным Путем. Долгое время считалось, что это и есть вся Вселенная. И лишь в 1924 г. американский астроном Эдвин Хаббл показал, что наша Галактика не единственная. Существует множество других галактик, разделенных гигантскими участками пустого пространства. Чтобы доказать это, Хабблу пришлось измерить расстояния до других галактик. Мы можем определять расстояния до ближайших звезд, фиксируя изменения их положения на небесном своде по мере обращения Земли вокруг Солнца. Но, в отличие от ближних звезд, другие галактики находятся столь далеко, что выглядят неподвижными. Поэтому Хаббл вынужден был использовать косвенные методы измерения расстояний.

В настоящее время видимая яркость звезд зависит от двух факторов — фактической светимости и удаленности от Земли. Для наиболее близких звезд мы можем измерить и видимую яркость, и расстояние, что позволяет вычислить их светимость. И наоборот, зная светимость звезд в других галактиках, мы можем вычислить расстояние до них, измерив их яркость. Хаббл утверждал, что определенные типы звезд всегда имеют одну и ту же светимость в тех случаях, когда они расположены от нас на достаточно близких расстояниях, позволяющих провести измерения. Обнаружив подобные

звезды в другой галактике, мы можем предполагать, что они имеют ту же светимость. Это позволит нам вычислить расстояния до иной галактики. Если мы проделаем это для нескольких звезд в какой-то галактике и полученные значения совпадут, то можно быть вполне уверенным в полученных нами результатах. Подобным образом Эдвин Хаббл сумел вычислить расстояния до девяти разных галактик.

Сегодня мы знаем, что наша Галактика лишь одна из нескольких сотен миллиардов наблюдаемых в современные телескопы галактик, каждая из которых может содержать сотни миллиардов звезд. Мы живем в Галактике, поперечник которой около ста тысяч световых лет. Она медленно вращается, и звезды в ее спиральных рукавах делают примерно один оборот вокруг ее центра за сто миллионов лет. Наше Солнце представляет собой самую обычную, средних размеров желтую звезду близ внешнего края одного из спиральных рукавов. Несомненно, мы прошли долгий путь со времен Аристотеля и Птолемея, когда Земля считалась центром Вселенной.

Звезды так далеки от нас, что кажутся всего лишь крошечными светящимися точками. Мы не можем различить их размер или форму. Каким же образом ученые их классифицируют? Для подавляющего большинства звезд надежно определяется только один параметр, который можно наблюдать, — цвет их излучения. Ньютон обнаружил, что пропущенный через призму солнечный свет распадается на составляющий его набор цветов (спектр), такой же, как у радуги. Сфокусировав телескоп на определенной звезде или галактике, можно наблюдать спектр света данного объекта. Разные звезды обладают разными спектрами, но относительная яркость отдельных цветов спектра практически всегда соответствует той, которую можно обнаружить в свечении сильно раскаленных объектов. Это позволяет по спектру звезды вычислить ее температуру. Более того, в спектре звезды можно обнаружить отсутствие некоторых специфических цветов,

причем цвета эти у каждой звезды свои. Известно, что каждый химический элемент поглощает характерный именно для него набор цветов. Таким образом, выявляя линии, отсутствующие в спектре излучения звезды, мы можем точно определять, какие химические элементы содержатся в ее внешнем слое.

Приступив в 1920-х гг. к исследованию спектров звезд в других галактиках, астрономы обнаружили поразительный факт: в них отсутствовал тот же самый набор цветовых линий, что и у звезд нашей Галактики, но все линии были смещены на одинаковую величину в направлении красной части спектра. Единственное разумное объяснение заключалось в том, что галактики удаляются от нас и это вызывает понижение частоты световых волн (так называемое красное смещение) вследствие эффекта Доплера. Прислушайтесь к шуму машин на шоссе. По мере того как автомобиль приближается к вам, звук его двигателя становится все выше сообразно частоте звуковых волн и делается ниже, когда машина удаляется. То же происходит и со световыми или радиоволнами. Действительно, эффектом Доплера пользуется дорожная полиция, определяя скорость автомобиля по изменению частоты посылаемого и принимаемого радиосигнала (сдвиг частоты при этом зависит от скорости отражающего объекта, то есть автомобиля).

После того как Хаббл открыл существование других галактик, он занялся составлением каталога расстояний до них и наблюдениями их спектров. В то время многие полагали, что галактики двигаются совершенно хаотически и, следовательно, в одинаковом количестве их должны обнаруживаться спектры, имеющие как красное смещение, так и синее. Каково же было общее удивление, когда обнаружилось, что все галактики демонстрируют красное смещение. Каждая из них удаляется от нас. Еще более поразительными оказались результаты, опубликованные Хабблом в 1929 г.:

даже величина красного смещения у каждой из галактик не случайна, но пропорциональна расстоянию между галактикой и Солнечной системой. Другими словами, чем дальше от нас галактика, тем быстрее она удаляется. Это означало, что Вселенная никак не может быть стационарной, как принято было думать ранее, на деле она расширяется. Расстояния между галактиками постоянно растут.

Открытие того, что Вселенная расширяется, стало одной из главных интеллектуальных революций XX в. Оглядываясь в прошлое, легко удивляться, почему никто не додумался до этого раньше. Ньютону и прочим следовало бы понять, что стационарная Вселенная быстро схлопнулась бы под влиянием тяготения. Но представьте, что Вселенная не стационарна, а расширяется. При малых скоростях расширения сила тяготения рано или поздно остановила бы его и положила начало сжатию. Однако если бы скорость расширения превосходила некоторое критическое значение, то силы тяготения было бы недостаточно, чтобы его остановить и Вселенная расширялась бы вечно. Нечто подобное происходит при запуске ракеты с поверхности Земли. Если ракета не разовьет нужной скорости, сила тяготения остановит ее и она начнет падать назад. С другой стороны, при скорости выше некоторой критической величины (около 11,2 км/с) силы тяготения не смогут удерживать ракету возле Земли, и она будет вечно удаляться от нашей планеты.

Подобное поведение Вселенной можно было предсказать на основе ньютоновского закона всемирного тяготения еще в XIX в., и в XVIII в., даже в конце XVII в. Однако вера в стационарную Вселенную была столь незыблема, что продержалась до начала XX столетия. Сам Эйнштейн в 1915 г., когда он сформулировал общую теорию относительности, сохранял убежденность в стационарности Вселенной. Не в силах расстаться с этой идеей, он даже модифицировал свою теорию, введя в уравнения так называемую космологическую постоянную. Эта величина характеризовала некую силу антигравитации, в отличие от всех других физических сил не исходящую из конкретного источника, а «встроенную» в саму ткань пространства-времени. Космологическая постоянная придавала пространству-времени внутренне присущую тенденцию к расширению, и это могло быть сделано для уравновешивания взаимного притяжения всей присутствующей во Вселенной материи, то есть ради стационарности Вселенной.

Похоже, в те годы лишь один человек готов был принять общую теорию относительности за чистую монету. Пока Эйнштейн и другие физики искали путь, позволяющий обойти нестационарность Вселенной, которая вытекала из общей теории относительности, российский физик Александр Фридман вместо этого предложил свое объяснение.

МОДЕЛИ ФРИДМАНА

Уравнения общей теории относительности, описывающие эволюцию Вселенной, слишком сложны, чтобы решить их в деталях. А потому Фридман предложил вместо этого принять два простых допущения: (1) Вселенная выглядит совершенно одинаково во всех направлениях; (2) это условие справедливо для всех ее точек. На основе общей теории относительности и этих двух простых предположений Фридману удалось показать, что мы не должны ожидать от Вселенной стационарности. На самом деле он в 1922 г. точно предсказал то, что Эдвин Хаббл открыл несколько лет спустя.

Предположение о том, что Вселенная выглядит одинаковой во всех направлениях, конечно же, не совсем отвечает реальности. Например, звезды нашей Галактики составляют на ночном небе отчетливо видимую светящуюся полосу, называемую Млечным Путем. Но если мы обратим свой взгляд

на далекие галактики, число их, наблюдаемое в разных направлениях, окажется примерно одинаковым. Так что Вселенная, похоже, сравнительно однородна во всех направлениях, если рассматривать ее в космических масштабах, сопоставимых с расстояниями между галактиками.

Долгое время это считалось достаточным обоснованием предположения Фридмана — грубым приближением к реальной Вселенной. Однако сравнительно недавно счастливый случай доказал, что предположение Фридмана описывает наш мир с замечательной точностью. В 1965 г. американские физики Арно Пензиас и Роберт Уилсон работали в лаборатории фирмы «Белл» в штате Нью-Джерси над сверхчувствительным приемником микроволнового излучения для связи с орбитальными искусственными спутниками. Их сильно беспокоило, что приемник улавливает больше шума, чем следовало бы, и что шум этот не исходит из какого-либо определенного направления. Поиск причины шума они начали с того, что очистили свою большую рупорную антенну от скопившегося внутри нее птичьего помета и исключили возможные неисправности. Им было известно, что любой шум атмосферного происхождения усиливается, когда антенна направлена не строго вертикально вверх, потому что атмосфера выглядит толще, если смотреть под углом к вертикали.

Дополнительный шум оставался одинаковым независимо от того, в каком направлении поворачивали антенну, а потому источник шума должен был находиться за пределами атмосферы. Шум оставался неизменным и днем и ночью на протяжении всего года, несмотря на вращение Земли вокруг ее оси и обращение вокруг Солнца. Это указывало, что источник излучения находится за пределами Солнечной системы и даже вне нашей Галактики, иначе интенсивность сигнала менялась бы по мере того, как в соответствии с движением Земли антенна оказывалась обращенной в разных направлениях.

Действительно, мы теперь знаем, что излучение по пути к нам должно было пересечь всю обозримую Вселенную. Коль скоро оно одинаково в разных направлениях, то и Вселенная должна быть однородна во всех направлениях (по крайней мере, в больших масштабах). Нам известно, что в каком бы направлении мы ни обратили свой взгляд, колебания «фонового шума» космического излучения не превышают 1/10 000. Так что Пензиас и Уилсон случайно натолкнулись на поразительно точное подтверждение первого предположения Фридмана.

Примерно в то же время два других американских физика из расположенного неподалеку, в том же штате Нью-Джерси, Принстонского университета, Боб Дик и Джим Пиблс, тоже заинтересовались космическим микроволновым излучением. Они работали над гипотезой Джорджа (Георгия) Гамова, который некогда был студентом Александра Фридмана, о том, что на самой ранней стадии развития Вселенная была исключительно плотной и горячей, нагретой до «белого каления». Дик и Пиблс пришли к выводу, что мы все еще можем наблюдать ее прошлое свечение, поскольку свет из самых далеких частей ранней Вселенной только-только достигает Земли. Однако вследствие расширения Вселенной этот свет, по-видимому, претерпел столь большое красное смещение, что теперь должен восприниматься нами в виде микроволнового излучения. Дик и Пиблс как раз вели поиски такого излучения, когда Пензиас и Уилсон, прослышав об их работе, поняли, что уже нашли искомое. За это открытие Пензиас и Уилсон были удостоены Нобелевской премии по физике 1978 г., что кажется несколько несправедливым по отношению к Дику и Пиблсу.

На первый взгляд, эти доказательства того, что Вселенная выглядит одинаково во всех направлениях, заставляют предположить, что Земля занимает какое-то особое место во Вселенной. Например, можно вообразить, что, коль скоро все

галактики удаляются от нас, мы находимся в самом центре космоса. Имеется, однако, альтернативное объяснение: Вселенная может выглядеть одинаково во всех направлениях и из любой другой галактики. Таково, как уже упоминалось, было второе предположение Фридмана.

У нас нет никаких доказательств, подтверждающих или опровергающих это предположение. Мы принимаем его на веру лишь из скромности. Было бы в высшей степени удивительно, если бы Вселенная выглядела одинаковой во всех направлениях вокруг нас, но не вокруг любой другой точки. В модели Фридмана все галактики удаляются друг от друга. Представьте воздушный шарик, на поверхности которого нарисованы пятнышки. При надувании шарика расстояние между любыми двумя пятнышками увеличивается, однако ни одно из них нельзя называть центром расширения. Более того, чем дальше расходятся пятнышки, тем быстрее они удаляются друг от друга. Сходным образом в модели Фридмана скорость разбегания любых двух галактик пропорциональна расстоянию между ними. Отсюда следует, что величина красного смещения галактик должна быть прямо пропорциональна их удаленности от Земли, что и обнаружил Хаббл.

Несмотря на то что модель Фридмана была удачной и оказалась соответствующей результатам наблюдений Хаббла, она долгое время оставалась почти неизвестной на Западе. О ней узнали лишь после того, как в 1935 г. американский физик Говард Робертсон и английский математик Артур Уокер разработали сходные модели для объяснения открытого Хабблом однородного расширения Вселенной.

Хотя Фридман предложил только одну модель, на основе двух его фундаментальных предположений можно построить три разные модели. В первой из них (именно ее и сформулировал Фридман) расширение происходит настолько медленно, что гравитационное притяжение между галактиками постепенно еще больше замедляет его, а потом и останавливает.

Галактики тогда начинают двигаться друг к другу, и Вселенная сжимается. Расстояние между двумя соседними галактиками сначала возрастает от нуля до некоторого максимума, а затем вновь уменьшается до нуля.

Во втором решении скорость расширения столь велика, что тяготение никогда не может его остановить, хотя и несколько замедляет. Разделение соседних галактик в этой модели начинается с нулевого расстояния, а затем они разбегаются с постоянной скоростью.

Наконец, существует третье решение, в котором скорость расширения Вселенной достаточна лишь для того, чтобы предотвратить обратное сжатие, или коллапс. В этом случае разделение также начинается с нуля и возрастает бесконечно. Однако скорость разлета постоянно уменьшается, хотя и никогда не достигает нуля.

Замечательной особенностью первого типа модели Фридмана является то, что Вселенная не бесконечна в пространстве, но пространство не имеет границ. Гравитация в этом случае настолько сильна, что пространство искривляется, замыкаясь само на себя наподобие поверхности Земли. Путешествующий по земной поверхности в одном направлении никогда не встречает непреодолимого препятствия и не рискует свалиться с «края Земли», а попросту возвращается в исходную точку. Таково пространство в первой модели Фридмана, но вместо присущих земной поверхности двух измерений оно имеет три. Четвертое измерение — время — обладает конечной протяженностью, но его можно уподобить линии с двумя краями или границами, началом и концом. Далее мы покажем, что комбинация положений общей теории относительности и принципа неопределенности квантовой механики допускает конечность пространства и времени при одновременном отсутствии у них каких-либо пределов или границ. Идея о космическом страннике, обогнувшем Вселенную и вернувшемся в исходную точку, хороша для фантасти-

ческих рассказов, однако не имеет практической ценности, поскольку — и это можно доказать — Вселенная сократится до нулевых размеров, прежде чем путешественник вернется к старту. Для того чтобы успеть вернуться в начальную точку раньше, чем Вселенная перестанет существовать, этот бедолага должен перемещаться быстрее света, чего, увы, не допускают известные нам законы природы.

Какая же модель Фридмана соответствует нашей Вселенной? Остановится ли расширение Вселенной, уступив место сжатию, или будет продолжаться вечно? Чтобы ответить на этот вопрос, нам необходимо знать скорость расширения Вселенной и ее среднюю плотность в настоящее время. Если эта плотность меньше некоторого критического значения, определяемого скоростью расширения, гравитационное притяжение будет слишком слабым для того, чтобы остановить разбегание галактик. Если же плотность больше критического значения, гравитация рано или поздно остановит расширение и начнется обратное сжатие.

Мы можем определить текущую скорость расширения путем измерения скоростей, с которыми другие галактики удаляются от нас, используя эффект Доплера. Это можно проделать с высокой точностью. Однако расстояния до галактик известны не очень хорошо, поскольку мы измеряем их косвенными методами. Нам известно одно: Вселенная расширяется примерно на 5–10 % за каждый миллиард лет. Впрочем, наши оценки нынешней плотности вещества во Вселенной грешат еще большей неопределенностью.

Если мы суммируем массу всех видимых нам звезд нашей и других галактик, итог будет меньше одной сотой того значения, которое необходимо для остановки расширения Вселенной даже при самой низкой его скорости. Впрочем, нам известно, что в нашей и других галактиках содержится большое количество темной материи, которую мы не можем наблюдать непосредственно, влияние которой, однако, обнаружи-

вается через ее гравитационное воздействие на орбиты звезд и галактический газ. Более того, большинство галактик образуют гигантские скопления, и можно предположить присутствие еще большего количества темной материи между галактиками в этих скоплениях по тому эффекту, которое она оказывает на движение галактик. Но, даже добавив всю эту темную материю, мы получим одну десятую того, что необходимо для остановки расширения. Впрочем, возможно, существуют иные, пока не выявленные нами формы материи, которые могли бы поднять среднюю плотность Вселенной до критического значения, способного остановить расширение.

Таким образом, существующее свидетельство предполагает, что Вселенная, по-видимому, будет расширяться вечно. Но не стоит делать ставку на это. Мы можем быть уверены только в том, что если Вселенной суждено схлопнуться, произойдет это не раньше чем через десятки миллиардов лет, поскольку расширялась она как минимум на протяжении такого же временно́го промежутка. Так что не стоит беспокоиться раньше срока. Если мы не сумеем расселиться за пределами Солнечной системы, человечество погибнет задолго до того вместе с нашей звездой, Солнцем.

БОЛЬШОЙ ВЗРЫВ

Характерной чертой всех решений, вытекающих из модели Фридмана, является то, что в соответствии с ними в далеком прошлом, 10 или 20 млрд лет назад, расстояние между соседними галактиками во Вселенной должно было равняться нулю. В этот момент времени, получивший название Большого Взрыва, плотность Вселенной и кривизна пространства-времени были бесконечно большими. Это означает, что общая теория относительности, на которой основаны все решения

модели Фридмана, предсказывает существование во Вселенной особой, сингулярной точки.

Все наши научные теории построены на предположении, что пространство-время является гладким и почти плоским, так что все они разбиваются о специфичность (сингулярность) Большого Взрыва, где кривизна пространства-времени бесконечна. Это означает, что, если какие-то события и происходили до Большого Взрыва, их нельзя использовать для установления того, что происходило после, потому что всякая предсказуемость в момент Большого Взрыва была нарушена. Соответственно, зная только то, что происходило после Большого Взрыва, мы не можем установить, что происходило до него. Применительно к нам все события до Большого Взрыва не имеют никаких последствий, а потому не могут быть частью научной модели Вселенной. Мы должны исключить их из модели и сказать, что время имело началом Большой Взрыв.

Многим не нравится идея о том, что время имеет начало, вероятно, потому, что она отдает божественным вмешательством. (С другой стороны, Католическая церковь ухватилась за модель Большого Взрыва и в 1951 г. официально провозгласила, что эта модель соответствует Библии.) Предпринимались попытки избежать вывода, что Большой Взрыв вообще был. Самую широкую поддержку получила теория стационарной Вселенной. Предложили ее в 1948 г. бежавшие из оккупированной нацистами Австрии Герман Бонди и Томас Голд совместно с британцем Фредом Хойлом, который в годы войны работал вместе с ними над усовершенствованием радаров. Их идея состояла в том, что, по мере того как галактики разбегаются, в пространстве между ними из вновь образующейся материи постоянно формируются новые галактики. Потому-то Вселенная и выглядит примерно одинаковой во все времена, а также из любой точки пространства.

Теория стационарной Вселенной требовала такого изменения общей теории относительности, которое допускало бы постоянное образование новой материи, но скорость ее образования была настолько низкой — около одной элементарной частицы на кубический километр в год, — что идея Бонди, Голда и Хойла не вступала в противоречие с опытными данными. Их теория была «добротной», то есть достаточно простой и предлагающей ясные предсказания, которые могут быть проверены экспериментально. Одно из таких предсказаний заключалось в том, что число галактик или сходных с ними объектов в любом данном объеме пространства будет одним и тем же, куда бы и когда бы мы ни взглянули во Вселенной.

В конце 1950-х – начале 1960-х гг. группа астрономов из Кембриджа, возглавляемая Мартином Райлом, исследовала источники радиоизлучения в космическом пространстве. Выяснилось, что бо́льшая часть таких источников должна лежать за пределами нашей Галактики и что слабых среди них гораздо больше, чем сильных. Слабые источники были признаны более удаленными, а сильные — более близкими. Очевидным стало и другое: число близких источников, приходящееся на единицу объема, меньше, чем дальних.

Это могло означать, что мы располагаемся в центре обширного района, где плотность источников радиоизлучения значительно ниже, чем в остальной Вселенной. Или то, что в прошлом, когда радиоволны только начинали свой путь к нам, источников излучения было гораздо больше, чем сейчас. И первое и второе объяснения противоречили теории стационарной Вселенной. Более того, обнаруженное Пензиасом и Уилсоном в 1965 г. микроволновое излучение также свидетельствовало, что когда-то в прошлом Вселенная должна была иметь гораздо бо́льшую плотность. Так что теорию стационарной Вселенной похоронили, пусть и не без сожаления.

Еще одну попытку обойти вывод о том, что Большой Взрыв был и время имеет начало, предприняли в 1963 г. советские ученые Евгений Лифшиц и Исаак Халатников. Они предположили, что Большой Взрыв может представлять собой некую специфическую особенность моделей Фридмана, которые, в конце концов, являются всего лишь приближением к реальной Вселенной. Возможно, из всех моделей, приближенно описывающих реальную Вселенную, лишь модели Фридмана содержат сингулярность Большого Взрыва. В этих моделях галактики разбегаются в космическом пространстве по прямым линиям. Поэтому неудивительно, что когда-то в прошлом все они находились в одной точке. В реальной Вселенной, однако, галактики разбегаются не по прямым, а по чуть искривленным траекториям. Так что на исходной позиции они располагались не в одной геометрической точке, а просто очень близко друг к другу. Поэтому представляется вероятным, что современная расширяющаяся Вселенная возникла не из сингулярности Большого Взрыва, а из более ранней фазы сжатия; при коллапсе Вселенной не все частицы должны были обязательно столкнуться друг с другом, некоторые из них могли избежать прямого столкновения и разлететься, создав наблюдаемую нами ныне картину расширения Вселенной. Можно ли тогда говорить, что реальная Вселенная началась с Большого Взрыва?

Лифшиц и Халатников изучили модели Вселенной, приближенно похожие на фридмановские, но принимавшие в расчет неоднородности и случайное распределение скоростей галактик в реальной Вселенной. Они показали, что такие модели тоже могут начинаться с Большого Взрыва, даже если галактики не разбегаются строго по прямым линиям. Однако Лифшиц и Халатников утверждали, что такое возможно только в отдельных определенных моделях, где все галактики движутся прямолинейно. Поскольку среди моделей, подобных фридмановским, гораздо больше тех, которые

не содержат сингулярности Большого Взрыва, чем тех, что ее содержат, рассуждали ученые, мы должны заключить, что вероятность Большого Взрыва крайне низка. Однако в дальнейшем им пришлось признать, что класс моделей, подобных фридмановским, которые содержат сингулярности и в которых галактики не должны двигаться каким-то особым образом, гораздо обширнее. И в 1970 г. они вообще отказались от своей гипотезы.

Работа, проделанная Лифшицем и Халатниковым, имела ценность, потому что показала: Вселенная могла иметь сингулярность — Большой Взрыв, — если общая теория относительности верна. Однако они не разрешили жизненно важного вопроса: предсказывает ли общая теория относительности, что у нашей Вселенной должен был быть Большой Взрыв, начало времени? Ответ на это дал совершенно иной подход, предложенный впервые английским физиком Роджером Пенроузом в 1965 г. Пенроуз использовал поведение так называемых световых конусов в теории относительности и тот факт, что гравитация всегда вызывает притяжение, чтобы показать, что звезды, переживающие коллапс под воздействием собственного тяготения, заключены в пределах области, чьи границы сжимаются до нулевых размеров. Это означает, что все вещество звезды стягивается в одну точку нулевого объема, так что плотность материи и кривизна пространства-времени становятся бесконечными. Другими словами, налицо сингулярность, содержащаяся в области пространства-времени, известной как черная дыра.

На первый взгляд, выводы Пенроуза ничего не говорили о том, существовала ли в прошлом сингулярность Большого Взрыва. Однако в то самое время, когда Пенроуз вывел свою теорему, я, тогда аспирант, отчаянно искал математическую задачу, которая позволила бы мне завершить диссертацию. Я понял, что, если обратить вспять направление времени в теореме Пенроуза, чтобы коллапс сменился расширением, усло-

вия теоремы останутся прежними, коль скоро нынешняя Вселенная приближенно соответствует фридмановской модели в больших масштабах. Из теоремы Пенроуза вытекало, что коллапс любой звезды заканчивается сингулярностью, а мой пример с обращением времени доказывал, что любая фридмановская расширяющаяся Вселенная должна возникать из сингулярности. По чисто техническим причинам теорема Пенроуза требовала, чтобы Вселенная была бесконечна в пространстве. Я мог использовать это для доказательства того, что сингулярности возникают лишь в одном случае: если высокая скорость расширения исключает обратное сжатие Вселенной, потому что только фридмановская модель бесконечна в пространстве.

Несколько следующих лет я разрабатывал новые математические приемы, которые позволили бы исключить это и другие технические условия из теорем, доказывающих, что сингулярности должны существовать. Результатом стала опубликованная в 1970 г. Пенроузом и мной совместная статья, утверждавшая, что сингулярность Большого Взрыва должна была существовать при условии, что общая теория относительности справедлива и количество вещества во Вселенной соответствует тому, которое мы наблюдаем.

Последовала масса возражений, частично от советских ученых, которые придерживались «партийной линии», провозглашенной Лифшицем и Халатниковым, а частично от тех, кто питал отвращение к самой идее сингулярности, оскорбляющей красоту теории Эйнштейна. Впрочем, с математической теоремой трудно поспорить. Поэтому ныне широко признано, что Вселенная должна была иметь начало.

ТРЕТЬЯ ЛЕКЦИЯ

ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ

Термин «черная дыра» возник сравнительно недавно. Американский ученый Джон Уилер ввел его в 1969 г. как наглядное отображение идеи, зародившейся самое меньшее два века назад. В то время существовало две теории света. Одна провозглашала, что свет — это поток частиц, другая — что это волны. Теперь мы знаем, что верны обе теории. Принцип корпускулярно-волнового дуализма, принятый в квантовой механике, разрешает рассматривать свет и как частицы, и как волны. Однако волновая концепция света не проясняет того, воздействует ли на свет гравитация. Если рассматривать свет как поток частиц, можно ожидать, что гравитация воздействует на него таким же образом, как на пушечные ядра, ракеты и небесные тела.

В 1783 г. кембриджский преподаватель Джон Мичелл написал статью для журнала «Философские труды Лондонского Королевского общества», в которой указывал: достаточно массивные и плотные звезды могут обладать настолько мощным гравитационным полем, что удерживают испускаемый ими свет. Любой свет, излучаемый поверхностью звезды, будет притянут назад гравитацией и не сможет удалиться на сколько-нибудь значительное расстояние. Мичелл предположил, что таких звезд во Вселенной немало. Хотя мы не можем их видеть (ведь их свет никогда не достигнет нас), мы способны регистрировать их гравитационное воздействие.

Именно подобные объекты мы и называем черными дырами, потому что таковы они есть — черные пустоты в космосе.

Сходное предположение — независимо от Мичелла, через несколько лет после него — высказал французский астроном Лаплас. Примечательно, что эту гипотезу он включил только в первые два издания своей книги «Изложение системы мира», а из последнего выбросил; должно быть, посчитал идею слишком безумной. На самом деле не совсем последовательно уподоблять свет пушечным ядрам ньютоновской теории тяготения, поскольку скорость света — величина постоянная. Ядро, выпущенное пушкой в воздух с поверхности Земли, под действием гравитации замедлит свое движение вверх, затем остановится и упадет. Фотоны же продолжают двигаться вверх с постоянной скоростью. Так каким же образом воздействует на свет ньютоновская гравитация? Последовательной теории воздействия тяготения на свет не существовало до тех пор, пока Эйнштейн в 1915 г. не сформулировал общую теорию относительности, и даже после этого прошло немало времени, прежде чем были выработаны приложения этой теории к поведению массивных звезд.

Чтобы понять, как могла бы формироваться черная дыра, нам сначала необходимо вникнуть в жизненный цикл звезды. Она образуется из огромного количества газа (главным образом водорода), сжимающегося под действием гравитации. По мере сжатия атомы газа все чаще сталкиваются друг с другом и приобретают всё бóльшую скорость — газ разогревается. В какой-то момент он становится настолько горячим, что атомы водорода уже не разлетаются при столкновениях, а начинают сливаться, образуя атомы гелия. Именно тепло, выделяющееся при этой реакции, которая напоминает контролируемый взрыв водородной бомбы, и заставляет светиться звезды. Это выделяющееся тепло повышает давление газа до тех пор, пока оно не уравновешивает гравитационное притяжение, и тогда сжатие газа останавливается. Нечто подобное происходит с воздушным шариком: газ, наполняющий резиновую оболочку, стремится растянуть ее, но действие его уравновешивают упругие силы в резине, которые пытаются оболочку сократить.

В этом устойчивом состоянии, когда воздействие выделяющегося при ядерной реакции тепла компенсируется гравитацией, звезда может пребывать длительное время. Однако рано или поздно она израсходует свой водород и другое ядерное топливо. И вот парадокс: чем больше такого топлива имелось изначально, тем скорее оно будет растрачено. А все потому, что чем массивнее звезда, тем больше тепла требуется для противодействия гравитации. И чем горячее звезда, тем скорее сжигается «горючее». Нашему Солнцу, по-видимому, его хватит еще на пять миллиардов лет или около того, но более крупные звезды могут извести свое «горючее» всего за каких-то сто миллионов лет — малость в сравнении с возрастом Вселенной. Лишившись топлива, звезда начинает остывать и сокращаться в размерах. Что может происходить затем, было выяснено лишь в конце 1920-х гг.

В 1928 г. индийский аспирант Субраманьян Чандрасекар отплыл в Англию, чтобы обучаться в Кембридже у британского астронома сэра Артура Эддингтона. Эддингтон занимался общей теорией относительности. Рассказывают, что в начале 1920-х гг. некий журналист спросил его: «Правда ли, что лишь три человека в мире понимают эту теорию?» «И кто же третий?» — откликнулся Эддингтон.

За время своего плавания из Индии в Англию Чандрасекар рассчитал, какой величины может быть звезда, способная сопротивляться собственной гравитации после того, как выработано все топливо. Его идея была такова: когда звезда уменьшается в размерах, расстояние между частицами вещества сокращается. Однако так называемый принцип запрета Паули не позволяет двум частицам вещества одновременно

иметь одно и то же положение и одну и ту же скорость. Частицы должны обладать различной скоростью. Это заставляет их разлетаться в разные стороны, что, в свою очередь, вызывает расширение звезды. Она, таким образом, получает возможность сохранять постоянный радиус за счет баланса между притяжением, вызванным гравитацией, и отталкиванием, обусловленным принципом запрета Паули, подобно тому как раньше гравитационное сжатие уравновешивалось расширением, возникающим из-за выделения тепла при ядерных реакциях.

Чандрасекар понял, однако, что отталкивание, определяемое принципом запрета, имеет свой предел. Теория относительности ограничивает скорость разлетания частиц вещества в недрах звезды скоростью света. Следовательно, когда звезда достигает некоторой плотности, отталкивание, связанное с принципом запрета, оказывается слабее гравитационного притяжения. Чандрасекар вычислил, что холодная звезда, масса которой в 1,5 раза больше массы нашего Солнца, не способна сопротивляться собственной гравитации. Эта масса получила название предел Чандрасекара.

Отсюда вытекают самые серьезные последствия для участи массивных звезд. Звезда, масса которой меньше предела Чандрасекара, может в конце концов перестать сжиматься и перейти в возможное финальное состояние белого карлика с радиусом несколько тысяч километров и плотностью порядка сотен тонн на кубический сантиметр. Существование белого карлика поддерживается отталкиванием между электронами в его веществе, что обусловлено принципом запрета Паули. Мы наблюдаем большое число белых карликов. Одним из первых был открыт тот, что обращается вокруг Сириуса, самой яркой звезды на ночном небе.

Было доказано, что возможен и другой исход для звезды, масса которой также не больше одной-двух масс Солнца, но которая значительно меньше белого карлика. Такие звезды

тоже обязаны своим существованием отталкиванию, обусловленному принципом запрета Паули, но не между электронами, а между нейтронами и протонами. Потому они и называются нейтронными. Они имеют в поперечнике от 20 до 30 километров, а их плотность составляет миллиарды тонн на кубический сантиметр. В то время, когда была предсказана возможность существования подобных объектов, наблюдать их не удавалось, так что обнаружили их значительно позднее.

С другой стороны, звезды, масса которых выше предела Чандрасекара, ожидает незавидная участь, когда их ядерное топливо подходит к концу. Иногда они взрываются или выбрасывают достаточно вещества, чтобы масса их упала ниже критического предела; но трудно поверить, что такое случается всегда, сколь бы велика ни была звезда. Откуда ей знать, что надо скинуть вес? Пусть даже каждой звезде удается потерять необходимую массу — что произойдет, если дополнительная масса прибавится к белому карлику или нейтронной звезде, заставив их выйти за предел Чандрасекара? Ожидает ли их коллапс, сжатие до бесконечной плотности?

Эддингтон был шокирован этими следствиями и отказался поверить в результаты Чандрасекара. Просто невозможно, думал он, чтобы звезда сжалась до размеров точки. Таково же было мнение большинства ученых. Сам Эйнштейн опубликовал статью, объявлявшую невозможным уменьшение звезд до нулевых размеров. Неприятие коллег, особенно Эддингтона — не только бывшего научного руководителя, но и ведущего авторитета в области строения звезд, — вынудило Чандрасекара оставить избранное направление исследований и заняться другими проблемами астрономии. Однако, когда в 1983 г. его удостоили Нобелевской премии, этим он был обязан (по крайней мере, отчасти) своей ранней работе о предельных массах холодных звезд.

Чандрасекар показал, что отталкивание, обусловленное принципом запрета, не может предотвратить коллапс звезд,

чья масса превышает вычисленный им предел. Но судьба, ожидающая такие массивные звезды в соответствии с общей теорией относительности, оставалась невыясненной вплоть до 1939 г., когда эту задачу решил молодой американский физик Роберт Оппенгеймер. Из его расчетов, однако, вытекало, что не стоит ожидать никаких обозримых последствий, которые могли бы быть обнаружены телескопами того времени. Вскоре Вторая мировая война заставила Оппенгеймера переключиться на создание атомной бомбы. А после войны проблема гравитационного коллапса была надолго забыта, поскольку в то время большинство физиков интересовалось происходящим в масштабах атома и его ядра. Однако в 1960-х гг. интерес к крупномасштабным проблемам астрономии и космологии ожил благодаря значительному росту количества астрономических наблюдений и расширению их диапазона за счет применения новых технологий. Результаты Оппенгеймера были открыты заново и развиты целым рядом других ученых.

Картина, вытекающая из работы Оппенгеймера, такова. Гравитационное поле звезды отклоняет траектории лучей света в пространстве-времени от тех, которые они имели бы в отсутствие звезды. Световые конусы, которые отображают пути в пространстве и времени световых импульсов, испущенных из их вершины, вблизи поверхности звезд слегка изгибаются «вовнутрь». Это прослеживается в изгибании света далеких звезд во время солнечного затмения. По мере сжатия звезды гравитационное поле на ее поверхности становится все более мощным и увеличивается степень изгиба световых конусов. Свету все труднее ускользнуть от звезды, и далекому наблюдателю он кажется все слабее и краснее.

В итоге, когда звезда сжалась до некоторого критического радиуса, гравитационное поле на ее поверхности обретает огромную мощность, из-за чего световые конусы настолько сильно изгибаются в направлении звезды, что свет дальше

вообще не может распространяться. В соответствии с теорией относительности ничто не может перемещаться быстрее света. А значит, если уж свету не удается вырваться из ловушки, это не дано и чему-либо иному. Все будет притянуто назад гравитационным полем. Так что существует совокупность событий, область пространства-времени, из которой ничто не способно выбраться, чтобы достичь удаленного наблюдателя. Эту область мы сегодня называем черной дырой. А ее границу — горизонтом событий. Она совпадает с тем местом, начиная с которого световые лучи не могут вырваться из черной дыры.

Для понимания того, что мы увидели бы, если бы могли наблюдать звездный коллапс и формирование черной дыры, следует вспомнить, что в теории относительности нет абсолютного времени. Каждый наблюдатель имеет свой собственный счет времени. Для находящегося на звезде время будет отличаться от времени удаленного наблюдателя из-за влияния гравитационного поля звезды. (Этот эффект может быть измерен на Земле в ходе эксперимента с часами, располагающимися на вершине и возле основания водонапорной башни.) Предположим, что отчаянный астронавт каждую секунду — по его часам — шлет сигнал с поверхности коллапсирующей звезды на борт космического корабля, который огибает звезду по круговой орбите. В какой-то момент, допустим в одиннадцать по его часам, радиус сжимающейся звезды становится меньше критического, при котором гравитационное поле усиливается настолько, что сигналы больше уже не достигают корабля на орбите.

Люди на борту корабля отметят, что по мере приближения 11 часов интервалы между последовательными сигналами астронавта сделаются все длиннее и длиннее. Впрочем, эффект будет незначителен до 10:59:59. Между сигналами, отправленными по часам астронавта в 10:59:58 и 10:59:59, для наблюдателей на орбите пройдет чуть больше секунды, но сигнала, поданного в 11:00:00, пришлось бы ожидать вечно. Световые

волны, испущенные поверхностью звезды между 10:59:59 и 11:00:00 — по часам астронавта, будут распространяться в течение бесконечного периода времени по впечатлению тех, кто остался на корабле.

Временной интервал между прибытием последовательных волн на борт корабля будет удлиняться и удлиняться, а свет звезды — делаться все краснее и тусклее. Рано или поздно звезда померкнет настолько, что уже не будет видна с корабля. Только и останется что черная дыра в космосе. Звезда тем не менее продолжит оказывать такое же, как и прежде, гравитационное воздействие на корабль. Потому что она все еще видима с корабля, по крайней мере в принципе. Просто под влиянием гравитационного поля свет ее претерпевает столь значительное красное смещение, что она не воспринимается органами человеческого зрения. Однако красное смещение не воздействует на само гравитационное поле. И корабль продолжает кружить возле черной дыры.

Работа, проделанная Роджером Пенроузом и мною между 1965 и 1970 гг., показала, что в соответствии с общей теорией относительности внутри черных дыр должна существовать особая точка, сингулярность с бесконечной плотностью вещества. Это очень напоминает Большой Взрыв, начало времени, с той лишь разницей, что для коллапсирующей звезды и астронавта это было бы концом времени. Все законы нашей науки и наша способность предсказывать будущее разбиваются о сингулярность. Впрочем, наблюдатель, оставшийся за пределами черной дыры, не испытает на себе последствий краха предсказуемости, потому что ни свет, ни какой-нибудь иной сигнал не может прорваться к нему из сингулярности.

Этот удивительный факт надоумил Роджера Пенроуза предложить гипотезу космической цензуры, которую можно перефразировать следующим образом: «Бог не терпит голой сингулярности». Иными словами, сингулярности, порождаемые гравитационным коллапсом, возникают только в местах

вроде черных дыр, где они благопристойно скрыты от постороннего взгляда горизонтом событий. Если быть точным, это то, что называется слабой гипотезой космической цензуры: она защищает наблюдателей за пределами черной дыры от любых последствий краха предсказуемости, который происходит внутри сингулярности. Но это никак не поможет несчастному астронавту, который канул в черную дыру. Пощадит ли Бог и его стыдливость?

Существует несколько решений уравнений общей теории относительности, которые позволяют нашему астронавту увидеть голую сингулярность. Вместо того чтобы угодить в нее, астронавт может попасть в так называемую кротовую нору и оказаться в другой области Вселенной. Это открывало бы большие возможности для путешествий в пространстве и времени, но, к несчастью, такие решения, похоже, могут оказаться весьма неустойчивыми. Малейшая помеха, такая как присутствие астронавта, способна изменить их настолько, что астронавт не разглядит сингулярности, пока не угодит в нее, и его время закончится. Иными словами, сингулярность всегда лежит в его будущем и никогда — в прошлом.

Сильный вариант гипотезы космической цензуры постулирует, что в реалистическом решении сингулярность всегда лежит или целиком в будущем (как сингулярности гравитационного коллапса), или целиком в прошлом (как Большой Взрыв). Весьма хотелось бы надеяться, что тот или иной вариант космической цензуры имеет смысл, поскольку нельзя исключать, что вблизи голых сингулярностей возможны путешествия в прошлое. Подобная возможность заманчива для писателей-фантастов, однако она означает, что ни один человек не может быть спокоен за свою жизнь. Некто способен попасть в прошлое и убить кого-либо из ваших родителей, когда вы еще не зачаты.

При формировании черной дыры в результате гравитационного коллапса все движения должны быть ограничены

эмиссией гравитационных волн. Поэтому следует ожидать, что довольно скоро черная дыра перейдет в устойчивое состояние. Принято думать, что это финальное, стационарное, состояние зависит от особенностей объекта, коллапс которого породил черную дыру. Черная дыра может иметь любую форму и размер. Более того, очертания ее могут быть изменчивыми, пульсирующими.

Как бы то ни было, в 1967 г. в Дублине была опубликована статья Вернера Израэля, совершившая переворот в изучении черных дыр. Израэль показал, что любая невращающаяся черная дыра должна иметь идеальную круглую или сферическую форму. Более того, ее размер зависит лишь от ее массы. В действительности она может описываться частным решением уравнений Эйнштейна, известным с 1917 г., когда Карл Шварцшильд обосновал его вскоре после создания общей теории относительности. Первоначально результаты Израэля интерпретировались многими, в том числе и им самим, как подтверждение того, что черные дыры должны образовываться только при сжатии тел, которые имеют правильную сферическую форму. Поскольку в действительности никакое тело такой формой не обладает, это значит, что в общем гравитационное сжатие должно приводить к «голым сингулярностям». Впрочем, имелась и иная интерпретация результатов Израэля, которую поддерживали в частности Роджер Пенроуз и Джон Уилер. Речь о том, что черная дыра должна вести себя подобно шарику жидкости. Даже если объект имел несферическую форму перед коллапсом, породившим черную дыру, она примет сферические очертания под действием гравитационных волн. Позднейшие вычисления подтвердили эту точку зрения, и она получила общее признание.

Выводы Израэля относились лишь к черным дырам, возникшим из невращающихся тел. Исходя из аналогии с шариком жидкости, следует ожидать, что черные дыры, образовавшиеся при коллапсе вращающихся тел, не должны быть идеально круглыми. Они должны иметь вдоль экватора вздутие, образовавшееся из-за вращения. Небольшое вздутие такого типа наблюдается на Солнце. Оно возникло в результате вращения Солнца вокруг его оси с периодом около 25 земных суток. В 1963 г. новозеландец Рой Керр получил для черной дыры целый набор решений уравнений общей теории относительности, причем более общих, чем решение Шварцшильда. Керровские черные дыры вращаются с постоянной скоростью, а их размер и форма определяются исключительно массой и скоростью вращения. При нулевой скорости вращения черные дыры имеют идеально круглую форму и решение для них совпадает с решением Шварцшильда. Однако если скорость не равна нулю, черные дыры выпучиваются в экваториальной области. Отсюда напрашивается естественный вывод: если черная дыра формируется за счет коллапса вращающегося тела, то конечное ее состояние описывается решениями Керра.

В 1970 г. мой коллега и соученик по аспирантуре Брендон Картер сделал первый шаг к доказательству такого вывода. Он показал, что, коль скоро постоянно вращающаяся черная дыра имеет ось симметрии, подобно волчку, ее размеры и форма зависят только от массы и скорости вращения. Позднее, в 1971 г., я доказал, что любая стационарно вращающаяся черная дыра действительно должна иметь ось симметрии. Наконец, в 1973 г. Дэвид Робинсон из лондонского Кингз-Колледж, используя наши с Картером результаты, окончательно подтвердил, что наш вывод был верен: такого рода черные дыры описываются решениями Керра.

Таким образом, после гравитационного коллапса черная дыра должна вращаться, но не пульсировать. Более того, ее размеры и форма зависят только от массы и частоты вращения, но никак не от природы объекта, коллапс которого породил черную дыру. Этот вывод получил известность в форме

максимы «У черной дыры нет волос». Она подразумевает, что очень большое количество информации о теле, которое коллапсировало, должно потеряться при образовании черной дыры, потому что после этого мы можем измерить лишь два параметра данного тела — массу и скорость вращения. Значение этого будет показано в следующей лекции. Теорема о том, что «черные дыры не имеют волос», обладает большим практическим значением, ибо резко ограничивает число разновидностей черных дыр. Становится возможным детальное моделирование объектов, которые могут содержать черные дыры, и сравнение предсказаний этих моделей с наблюдениями.

Исследование черных дыр представляет собой довольно редкий в истории науки случай, когда теория была выработана в мельчайших деталях как математическая модель задолго до того, как ее правильность подтвердили наблюдения. Конечно, это обстоятельство служило основным аргументом скептиков. Как можно верить в реальность объектов, существование которых подтверждается только вычислениями, основанными на сомнительной общей теории относительности?

Однако в 1963 г. Мартен Шмидт, астроном обсерватории Маунт-Паломар в Калифорнии, обнаружил слабый, напоминающий звезду объект в направлении источника радиоволн, получившего обозначение 3C273 (потому что он стоит под номером 273 в третьем выпуске Кембриджского каталога радиоисточников). Измерив красное смещение нового объекта, Шмидт обнаружил, что оно слишком велико для того, чтобы его можно было приписать действию гравитационного поля. Если бы красное смещение имело гравитационную природу, объект оказался бы настолько массивным и близким к нам, что ощущалось бы его влияние на орбитальное движение планет Солнечной системы. Это заставляло предположить, что красное смещение вызвано расширением Вселенной, а значит, объект располагается очень далеко от нас. А для того чтобы мы могли его видеть на столь большом расстоянии, он должен быть исключительно ярким и излучать огромное количество энергии.

Единственным мыслимым механизмом, способным вырабатывать столько энергии, представлялся гравитационный коллапс, но не отдельной звезды, а всей центральной области галактики. Позднее был обнаружен целый ряд подобных квазизвездных объектов, или квазаров, и у всех них отмечалось большое красное смещение. Но все они находятся слишком далеко и слишком сложны для наблюдений, которые могли бы дать убедительные доказательства существования черных дыр.

Следующее обнадеживающее свидетельство того, что черные дыры все-таки существуют, появилось в 1967 г., когда аспирантка Кембриджского университета Джоселин Белл обнаружила, что некоторые небесные объекты излучают регулярные импульсы радиоволн. Поначалу Джоселин и ее научный руководитель Энтони Хьюиш даже решили, что, возможно, ими установлен контакт с инопланетной цивилизацией в другой галактике. В самом деле, я помню, как, докладывая на семинаре о своем открытии, они обозначили первые четыре обнаруженных ими источника аббревиатурой LGM 1–4, где LGM означало Little Green Men — маленькие зеленые человечки (как принято было называть инопланетян).

В конце концов, однако, и они, и все остальные пришли к менее романтическому выводу, что эти объекты, названные пульсарами, представляют собой вращающиеся нейтронные звезды. Пульсары испускают импульсы радиоволн в результате сложного взаимодействия их магнитных полей с окружающей материей. Это была плохая новость для авторов космических боевиков, но большое утешение для немногих ученых, веривших в то время в черные дыры. И первое реальное свидетельство того, что нейтронные звезды существуют. Радиус нейтронной звезды — около 15 километров, что лишь в несколько раз больше критического радиуса, при котором

звезда становится черной дырой. Если одна звезда может сжаться до столь малых размеров, резонно ожидать, что и другие звезды способны уменьшиться даже до еще меньших размеров и стать черными дырами.

Как можем мы надеяться обнаружить черные дыры, если они по определению не испускают никакого света? Это даже не поиски черной кошки в темной комнате — это поиски черной кошки в угольной яме! К счастью, способ есть, поскольку, как указывал еще Джон Мичелл в своей «первопроходческой» статье 1783 г., черная дыра оказывает гравитационное воздействие на близлежащие объекты. Астрономы выявили целый ряд систем, в которых две звезды движутся одна вокруг другой, связанные гравитацией. Они также обнаружили системы, в которых единственная видимая звезда обращается вокруг невидимого компаньона.

Конечно, нельзя с ходу утверждать, что этот компаньон — черная дыра. Возможно, это просто звезда, свет которой недостаточно ярок для того, чтобы мы могли ее наблюдать. Однако некоторые из таких систем (например, X-1 в созвездии Лебедь) являются также очень мощными источниками рентгеновского излучения. Наилучшее объяснение этого феномена заключается в том, что рентгеновские лучи испускаются материей, выброшенной с поверхности видимой звезды. Падая в направлении невидимого компаньона, она приобретает спиральное движение, — как вода, устремляющаяся в слив ванны, — очень сильно разогревается и испускает рентгеновские лучи. Чтобы подобный механизм работал, невидимый объект должен быть очень маленьким — таким, как белый карлик, нейтронная звезда или черная дыра.

Итак, из наблюдаемого движения видимой звезды можно вывести минимально возможную массу невидимого объекта. Например, в системе Лебедь X-1 невидимое тело по массе примерно в шесть раз превосходит наше Солнце. Согласно выводам Чандрасекара, это слишком много для того, чтобы

невидимка был белым карликом. Он слишком велик и для нейтронной звезды. А значит, это должна быть черная дыра.

Существуют и другие модели для объяснения феномена Лебедя X-1, не включающие в себя черные дыры, но все они довольно натянуты. Присутствие в этой системе черной дыры кажется единственным разумным объяснением наблюдаемых особенностей. Несмотря на это, я заключил пари с Кипом Торном из Калифорнийского технологического института о том, что в действительности Лебедь X-1 не содержит черной дыры. Для меня это своего рода страховка. Я много работал над проблемой черных дыр, и все мои труды пойдут прахом, если окажется, что черных дыр не существует. Но если черной дыры в системе Лебедь X-1 не окажется, я хоть отчасти утешусь, выиграв пари и получив четырехгодичную подписку на журнал *Private Eye*. Если же черная дыра там есть, Кип будет бесплатно получать *Penthouse*, но всего лишь год, потому что когда мы бились об заклад в 1975 г., то были на 80 % уверены, что черная дыра в созвездии Лебедь имеется. Сегодня, я бы сказал, мы уверены в этом на 95 %, однако наш спор еще не разрешен.

Свидетельства существования черных дыр обнаруживаются в целом ряде звездных систем нашей галактики, а также в центрах других галактик и квазаров, где черные дыры, по-видимому, гораздо крупнее. Допустимо также рассматривать возможность того, что существуют черные дыры, масса которых значительно меньше массы нашего Солнца. Они не могут быть сформированы в результате гравитационного коллапса, поскольку их массы ниже предела Чандрасекара. Звезды столь малой массы способны сопротивляться собственной гравитации даже после того, как исчерпают все ядерное топливо. Так что маломассивные черные дыры могут формироваться, только если материя достигает огромной плотности, сжатая очень большим внешним давлением. Такие условия возникают, например, при взрыве сверхмощных водородных

бомб. Физик Джон Уилер как-то подсчитал, что, если взять всю тяжелую воду, содержащуюся во всех океанах мира, можно создать водородную бомбу, которая настолько сожмет материю в центре, что возникнет черная дыра. К несчастью, не останется никого, кто мог бы это увидеть.

Более реалистичной выглядит возможность того, что маломассивные черные дыры возникли при высоких температурах и давлениях на самом раннем этапе эволюции Вселенной. Подобное могло случиться, если молодая Вселенная не была совершенно гладкой и однородной, потому что тогда небольшие области с плотностью выше средней могли быть сжаты тем самым образом, какой необходим для образования черных дыр. Но мы знаем, что должны были существовать некоторые неоднородности, потому что в противном случае даже в нынешнюю эпоху во Вселенной все еще наблюдалось бы идеально равномерное распределение материи вместо ее скоплений в звездах и галактиках.

Действительно ли неравномерности, требуемые для образования звезд и галактик, могли привести к формированию значительного числа таких первичных черных дыр, зависит от условий, которые имели место на раннем этапе развития Вселенной. Так что если нам удастся установить, сколько первичных черных дыр существует ныне, мы многое узнаем о самых ранних этапах ее становления. Первичные черные дыры с массой более миллиарда тонн (такова масса крупной горы на Земле) могут быть выявлены только по их гравитационному воздействию на видимую материю или на расширение Вселенной. Однако, как вы узнаете из следующей лекции, черные дыры не так уж черны, в конце концов. Они испускают электромагнитное излучение, подобно нагретым телам, причем тем интенсивнее, чем они меньше. Так что парадоксальным образом может статься, что обнаружить небольшую черную дыру проще, чем крупную.

ЧЕТВЕРТАЯ ЛЕКЦИЯ

ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ НЕ ТАК УЖ ЧЕРНЫ

До 1970 г. мои исследования в области общей теории относительности были сконцентрированы на вопросе, существовала ли сингулярность Большого Взрыва. Но как-то ноябрьским вечером того года, вскоре после рождения моей дочки Люси́, я задумался о черных дырах, укладываясь спать. Моя физическая беспомощность существенно замедляла этот процесс, так что времени на раздумья хватало. В то время еще не существовало точного определения того, какие точки пространства-времени лежат внутри черной дыры, а какие — вне ее.

Я уже обсуждал с Роджером Пенроузом идею определения черной дыры как совокупности событий, из которой невозможно ускользнуть на большое расстояние. Сегодня это общепринятое определение. Оно означает, что граница черной дыры (горизонт событий) формируется лучами света, которые начиная с этого места не могут покинуть черную дыру. Они остаются в ней навечно и мечутся у края. Это все равно что удирать от полицейских, опередив их на шаг, но так никогда и не оторваться от погони.

Внезапно я понял, что пути таких световых лучей не могут сближаться, так как в противном случае они неизбежно пересеклись бы. Как если бы убегающий от полиции столкнулся с другим беглецом, удирающим в противоположном направлении. Оба были бы схвачены, а лучи — те канули бы

в черной дыре. Но если бы лучи поглотила черная дыра, их уже не было бы на границе. Так что лучи на горизонте событий должны двигаться параллельно друг другу или раздельно.

Можно использовать другую аналогию: горизонт событий, граница черной дыры, напоминает край тени. Это край света, уносящегося на далекие расстояния, но это и край сумрака неминуемой гибели. И если вы посмотрите на тень, которую предметы отбрасывают в лучах источника, удаленного на большое расстояние, как Солнце, вы увидите, что лучи света на краю не приближаются друг к другу. Если лучи света, которые образуют горизонт событий, никогда не могут сблизиться, площадь горизонта событий должна оставаться постоянной или увеличиваться со временем. Она лишь никогда не может сокращаться, потому что в таком случае по крайней мере некоторые лучи на границе должны сблизиться. На самом деле эта площадь должна увеличиваться всякий раз, когда вещество или излучение попадает в черную дыру.

Представьте также, что две черные дыры столкнулись и слились, образовав новую черную дыру. Тогда площадь горизонта событий вновь образованной черной дыры была бы больше, чем у двух исходных, вместе взятых. Это свойство «несокращаемости», присущее площади горизонта событий, налагает важное ограничение на возможное поведение черных дыр. Я был так возбужден своим открытием, что почти не спал той ночью.

На следующий день я позвонил Роджеру Пенроузу. Он согласился со мной. На самом деле, я думаю, он подозревал об этом свойстве площади. Однако пользовался несколько иным определением черной дыры. Ему просто не пришло в голову, что оба определения дадут одни и те же границы черной дыры, если она перешла в стационарное состояние.

ВТОРОЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ

Несокращаемость площади черной дыры заставляет вспомнить о поведении физической величины, называемой энтропией и служащей мерой неупорядоченности любой системы. Обыденный опыт показывает, что беспорядок имеет свойство нарастать, если вещи предоставлены сами себе; чтобы увидеть это, достаточно не чинить ничего в доме. Мы можем создавать порядок из беспорядка, например, когда красим дом. Однако это требует затрат энергии, а значит, уменьшает количество доступной нам упорядоченной энергии.

Точная формулировка данной идеи носит название второго закона термодинамики. Он постулирует, что в изолированной системе энтропия со временем никогда не уменьшается. Более того, при объединении двух систем энтропия объединенной системы превышает сумму энтропий отдельных систем. Рассмотрим в качестве примера систему молекул газа в замкнутом объеме. Молекулы можно уподобить крошечным бильярдным шарам, непрерывно сталкивающимся друг с другом и ударяющим в бортики стола. Предположим, что изначально все молекулы собраны в левой части емкости при помощи перегородки. Если затем перегородку убрать, они распространятся по всему объему, заняв обе половины емкости. Спустя некоторое время они все могут случайно оказаться в правой половине или вновь соберутся в левой. Но гораздо более вероятно, что в обеих половинах будет приблизительно одинаковое число молекул. Такое состояние менее упорядоченно или более неупорядоченно, чем исходное, когда все молекулы располагались в одной половине. В этом случае говорят, что энтропия газа повышается.

А теперь представьте, что изначально имеются две емкости: одна с молекулами кислорода, другая — азота. Если соединить емкости, удалив перегородку между ними, молекулы

кислорода и азота начнут смешиваться. Через некоторое время в обеих емкостях, скорее всего, будет содержаться относительно однородная смесь кислорода и азота. Это состояние будет менее упорядоченным, а значит, обладающим более высокой энтропией, чем исходное состояние двух отдельных емкостей.

Второй закон термодинамики занимает совершенно особое место среди других физических законов. Эти другие, например закон всемирного тяготения Ньютона, абсолютны, то есть выполняются всегда. Второй же закон термодинамики носит вероятностный характер, иначе говоря, выполняется не всегда, но в подавляющем большинстве случаев. Вероятность того, что все молекулы газа через какое-то время будут обнаружены в одной половине сосуда, составляет множество миллиардов к одному, но такое может случиться.

Но если поблизости есть черная дыра, нарушить второй закон гораздо проще: достаточно поместить в нее некоторое количество вещества с высокой энтропией (например, сосуд с газом). Полная энтропия вещества вне дыры должна понизиться. Конечно, можно сказать, что полная энтропия, включая энтропию внутри черной дыры, не пойдет вниз. Но поскольку не существует способа заглянуть в черную дыру, мы никак не сможем оценить энтропию вещества внутри нее. Поэтому было бы хорошо, если бы черная дыра обладала некоторым свойством, позволяющим наблюдателям снаружи черной дыры судить об ее энтропии; она должна возрастать всякий раз, когда в черную дыру попадает вещество, несущее энтропию.

Следуя моей идее о том, что площадь горизонта событий увеличивается, когда в черную дыру попадает вещество, аспирант из Принстона Джейкоб Бекенштейн предположил, что площадь горизонта событий может служить мерой энтропии

черной дыры. Когда вещество, несущее энтропию, попадает внутрь черной дыры, площадь горизонта событий увеличивается , так что суммарная энтропия вещества вне черных дыр и площадь горизонтов никогда не уменьшатся.

На первый взгляд, это предположение исключает нарушение второго закона термодинамики в большинстве случаев. Однако оно содержит серьезную ошибку: если черной дыре присуща энтропия, то у нее должна быть также и температура. Между тем физическое тело, температура которого отлична от нуля, должно испускать излучение той или иной интенсивности. Все тот же обыденный опыт подсказывает нам, что, если накалить кочергу на огне, она начнет светиться красным и испускать излучение. Но и тела с более низкой температурой также испускают его; только мы обычно этого не замечаем, потому что оно очень слабо. Излучать они должны для того, чтобы не нарушался второй закон термодинамики. Так что черные дыры должны испускать излучение, но по определению они не должны излучать ничего. Поэтому представляется, что площадь горизонта событий черной дыры не может служить мерой ее энтропии.

Действительно, в 1972 г. я написал статью на эту тему вместе с Брендоном Картером и американским коллегой Джимом Бардиным. Мы указали, что, несмотря на все сходство между энтропией и площадью горизонта событий, существует эта самая, явно фатальная сложность. Должен признаться, что при написании статьи мною отчасти руководило раздражение против Бекенштейна, поскольку я чувствовал, что он неверно использовал мое открытие, касающееся возрастания площади горизонта событий черных дыр. Позднее, однако, выяснилось, что он был в основном прав, хотя и на неожиданный для него самого лад.

ИЗЛУЧЕНИЕ ЧЕРНЫХ ДЫР

В сентябре 1973 г. во время поездки в Москву я обсудил проблему черных дыр с двумя ведущими советскими специалистами в этой области, Яковом Зельдовичем и Алексеем Старобинским. Они убеждали меня в том, что в соответствии с принципом неопределенности квантовой механики вращающиеся черные дыры должны порождать и испускать элементарные частицы. Я соглашался с их физическими аргументами, но мне не нравились математические методы, при помощи которых они рассчитывали излучение. Поэтому я занялся разработкой более совершенного математического аппарата, с которым ознакомил слушателей неформального семинара в Оксфорде в конце ноября 1973 г. В то время я еще не произвел расчетов для выяснения параметров излучения. Я ожидал обнаружить лишь излучение, предсказанное Зельдовичем и Старобинским для вращающихся черных дыр. Однако, проделав вычисления, я обнаружил, к собственному удивлению и досаде, что даже невращающиеся черные дыры должны порождать и испускать частицы с постоянной скоростью.

Вначале я подумал, что это связано с ошибочностью приближений, использованных мною при расчете. Я опасался, как бы Бекенштейн, узнав о моих выводах, не использовал их для защиты своей идеи об энтропии черных дыр, которая мне не нравилась. Однако чем больше я думал об этом, тем сильнее во мне крепло убеждение, что использованные приближения правомерны. Окончательно же меня убедило в реальности излучения черных дыр полное сходство спектра испускаемых ими частиц со спектром излучения нагретого тела.

Черная дыра испускала частицы в точности с той самой скоростью, которая не допускает нарушений второго закона термодинамики.

С тех пор аналогичные вычисления были повторены другими специалистами в разной форме. И все они подтвердили, что черные дыры должны испускать частицы и излучение, как если бы они были нагретым телом, чья температура зависит от массы черной дыры: чем больше масса, тем ниже температура. Это испускание можно трактовать следующим образом: то, что кажется нам пустым пространством, в действительности никогда не бывает совершенно пустым, поскольку это означало бы, что все поля, включая гравитационное и электромагнитное, должны в точности равняться нулю. Однако напряженность любого поля и скорость ее изменения в известном смысле подобны положению и скорости элементарной частицы. Согласно принципу неопределенности, чем точнее известное нам значение одного из этих параметров, тем менее точным будет значение второго.

Таким образом, в пустом пространстве поле не может постоянно в точности равняться нулю, потому что тогда мы имели бы сразу два точных (равных нулю) значения сопряженных величин — напряженности поля и скорости ее изменения. Вместо этого должна существовать некоторая минимальная неопределенность, квантовая флуктуация, в значении напряженности поля. Флуктуации можно представлять себе в виде пары частиц света или гравитации, которые в какое-то время появляются вместе, разлетаются в разные стороны, а затем снова сходятся и аннигилируют. Эти частицы называют виртуальными. В отличие от реальных частиц, они не могут быть непосредственно зарегистрированы детектором элементарных частиц. Тем не менее их косвенное влияние — вроде небольшого изменения энергии электронных орбит и атомов — может быть измерено и соответствует теоретическим предсказаниям с замечательной степенью точности.

По закону сохранения энергии в такой виртуальной паре одна частица должна обладать положительной энергией, а другая — отрицательной. Той, что обладает отрицательной энергией, суждена недолгая жизнь. А всё потому, что реальные частицы при обычных условиях всегда имеют положительную энергию. Поэтому она должна найти парную частицу и аннигилировать. Однако гравитационное поле внутри черной дыры настолько сильно, что в ней даже реальная частица может иметь отрицательную энергию.

Поэтому попавшие в черную дыру виртуальные частицы с отрицательной энергией могут стать реальными. В этом случае им больше нет нужды аннигилировать с парными частицами. Покинутый частицей партнер точно так же может попасть в черную дыру. Но поскольку парная частица обладает положительной энергией, ничто не мешает ей ускользнуть в бесконечность в виде реальной частицы. Для удаленного наблюдателя это будет выглядеть так, будто она испущена черной дырой. Чем меньше черная дыра, тем меньше расстояние, которое следует преодолеть частице с отрицательной энергией, чтобы стать реальной. Таким образом, скорость испускания частиц будет больше, а видимая температура черной дыры — выше.

Положительная энергия испускаемого излучения должна компенсироваться притоком в черную дыру частиц с отрицательной энергией. В соответствии со знаменитым уравнением Эйнштейна $E = mc^2$ энергия эквивалентна массе. Поэтому приток отрицательной энергии в черную дыру уменьшает ее массу. По мере уменьшения массы сокращается площадь горизонта событий, однако это понижение энтропии черной дыры с избытком компенсируется энтропией испускаемого излучения, так что второй закон термодинамики никак не нарушается.

ВЗРЫВЫ ЧЕРНЫХ ДЫР

Итак, чем меньше масса черной дыры, тем выше ее температура. Так что по мере того как черная дыра теряет массу, ее температура и интенсивность излучения растут. Как следствие, она теряет массу еще быстрее. Что происходит с черной дырой, когда масса ее становится крайне малой, не совсем ясно. Самое приемлемое предположение состоит в том, что она просто исчезнет в последнем чудовищном всплеске излучения, эквивалентном по мощности взрыву миллионов водородных бомб.

Черная дыра с массой, в несколько раз превосходящей массу нашего Солнца, должна иметь температуру, равную всего лишь одной десятимиллионной доле градуса выше абсолютного нуля. Это намного меньше температуры заполняющего Вселенную фонового космического излучения (около 2,7 градуса выше абсолютного нуля), так что такие черные дыры должны излучать меньше энергии, чем они поглощают, хотя и это очень мало. Если Вселенная обречена на вечное расширение, то температура фонового излучения рано или поздно станет ниже температуры черной дыры. Тогда черная дыра начнет поглощать меньше энергии, чем она излучает, и терять массу. Но ее температура настолько низка, что даже в этом случае для полного испарения черной дыры понадобится около 10^{66} лет. Это намного больше возраста Вселенной, составляющего всего около 10^{10} лет.

С другой стороны, как вы узнали из предыдущей лекции, могут существовать первичные черные дыры очень малой массы, возникшие при коллапсе неоднородностей на самой ранней стадии формирования Вселенной. Такие дыры должны иметь гораздо более высокую температуру и значительно интенсивнее испускать излучение. Время жизни первичных черных дыр с начальной массой в миллиарды тонн должно

равняться возрасту Вселенной. А те, чья начальная масса была меньше, по всей видимости, уже полностью испарились. Однако первичные черные дыры с чуть большей массой должны до сих пор испускать излучение в форме рентгеновских и гамма-лучей, которые сродни видимому свету, но имеют гораздо более короткие длины волн. Такие дыры вряд ли можно называть черными. Они нагреты до белого каления, а мощность их излучения около десяти тысяч мегаватт.

Одна такая черная дыра могла бы питать десять крупных электростанций, если бы мы научились использовать ее энергию. Однако добиться этого довольно трудно. Черная дыра должна иметь массу земной горы, сжатую до размера атомного ядра. Попади она на поверхность Земли, не нашлось бы способа предотвратить ее падение сквозь все геологические пласты к центру планеты. Она раз за разом пронизывала бы Землю, снуя вверх и вниз, пока не остановилась бы в центре. Поэтому, если мы когда-нибудь надумаем использовать энергию излучения черной дыры, единственным местом, куда ее можно будет поместить, окажется орбита вокруг Земли. А единственным способом доставки черной дыры на такую орбиту пока представляется буксировка при помощи массивного объекта, расположенного перед черной дырой и притягивающего ее, как морковка, подвешенная перед запряженным в повозку осликом. Этот проект не похож на практическое предложение, по крайней мере для ближайшего будущего.

ПОИСКИ ПЕРВИЧНЫХ ЧЕРНЫХ ДЫР

Уж если мы пока не можем обуздать энергию первичных черных дыр, есть ли у нас шансы наблюдать их? Мы можем поискать гамма-лучи, испускаемые первичными черными дырами в течение почти всего времени их существования.

Хотя излучение большинства из них вследствие удаленности от нас очень слабо, суммарное излучение может быть зафиксировано. Мы и в самом деле регистрируем некоторое фоновое гамма-излучение. Но оно может быть вызвано процессами, не имеющими отношения к первичным черным дырам. Можно утверждать, что фоновое гамма-излучение не дает нам никаких надежных свидетельств существования таких дыр. Однако оно указывает, что в среднем в объеме пространства, равном одному кубическому световому году, не может содержаться более 300 небольших черных дыр. Эта предельная цифра означает, что первичные черные дыры могут составлять самое большее одну миллионную средней плотности массы во Вселенной.

Может показаться, что раз первичные черные дыры столь редки, вряд ли хоть одна отыщется достаточно близко к нам, чтобы мы могли ее наблюдать. Но поскольку предполагается, что гравитация притягивает черные дыры к любой материи, они должны бы чаще встречаться в галактиках. Если бы, скажем, они попадались в миллион раз чаще, ближайшая черная дыра должна была бы, вероятно, лежать на расстоянии миллиарда километров от нас или примерно так же далеко, как Плутон, один из самых дальних объектов Солнечной системы. Но и на таком расстоянии было бы все еще очень трудно зарегистрировать устойчивое излучение черной дыры, даже если его мощность составляла бы десять тысяч мегаватт.

О наблюдениях первичной черной дыры можно говорить, если в течение достаточного промежутка времени, например недели, регистрируются несколько квантов гамма-излучения, приходящих из одного и того же направления.

В противном случае это может быть лишь фоновое излучение. Однако планковский принцип квантования говорит нам, что каждый квант гамма-излучения обладает очень высокой энергией, поскольку гамма-лучи имеют очень высокую

частоту. Поэтому для того, чтобы излучить даже десять тысяч мегаватт, не понадобится много квантов. А для регистрации этих немногих квантов, приходящих с расстояния, на котором расположен Плутон, потребуется более крупный детектор гамма-лучей, чем любой из ныне существующих. Более того, этот детектор должен размещаться в космосе, поскольку гамма-лучи не могут проникать через атмосферу. Разумеется, если черная дыра, располагающаяся на таком же расстоянии от нас, как и Плутон, завершит свой жизненный цикл и взорвется, зафиксировать конечный всплеск излучения не составит труда. Однако если черная дыра испускала излучение на протяжении последних 10 или 20 млрд лет, вероятность того, что она закончит свое существование в ближайшие несколько лет, крайне незначительна. С тем же успехом от этого события нас может отделять несколько миллионов лет — в прошлом или в будущем. Если же вы надеетесь наблюдать взрыв до того, как истечет срок выделенного вам исследовательского гранта, придется разработать метод регистрации всех взрывов на расстоянии около одного светового года. Перед вами по-прежнему будет стоять проблема большого детектора гамма-излучения, способного регистрировать небольшое число квантов. Однако в этом случае не понадобится устанавливать, из одного ли направления пришли все кванты. Достаточно будет убедиться, что все они поступили в течение очень короткого интервала времени, чтобы быть уверенным, что все они порождены одним взрывом.

Детектором гамма-излучения, способным выявить первичные черные дыры, является атмосфера Земли в целом. (В любом случае, мы вряд ли способны соорудить более крупный детектор.) Когда обладающие высокой энергией кванты гамма-излучения сталкиваются с атомами земной атмосферы, образуются пары электрон-позитрон, которые при столкновении с другими атомами также, в свою очередь, вызывают образование новых электрон-позитронных пар. Начинается так называемый электронный ливень. В итоге возникает форма света, называемая черенковским излучением. Каждый из нас может наблюдать воздействие квантов гамма-излучения на атмосферу, когда видит вспышки света в ночном небе.

Разумеется, эти вспышки могут порождаться целым рядом других явлений, например молниями. Однако гамма-вспышки легко отличить от подобных эффектов, если вести наблюдения одновременно из двух или больше пунктов, достаточно далеко отстоящих друг от друга. Подобного рода исследования провели два ученых из Дублина, Нил Портер и Тревор Уикес, используя телескопы в Аризоне. Они зафиксировали ряд вспышек, но ни одну из них нельзя с уверенностью приписать всплеску гамма-излучения первичных черных дыр.

Даже если поиски первичных черных дыр окажутся бесплодными, что представляется вполне вероятным, они дадут нам важную информацию о самых ранних стадиях развития Вселенной. Если ранняя Вселенная была хаотичной или неоднородной, либо давление вещества/материи было низким, следует ожидать, что первичных черных дыр образовалось значительно больше того предельного значения, которое было установлено исходя из наших наблюдений фонового гамма-излучения. Объяснить отсутствие хоть какого-то количества обнаруживаемых наблюдениями первичных черных дыр можно только в том случае, если ранняя Вселенная была гладкой и однородной и в ней наблюдалось высокое давление.

ОБЩАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ И КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА

Излучение черных дыр — первый пример предсказания, основанного на двух великих теориях прошлого века — общей теории относительности и квантовой механики. Поначалу

оно возбудило множество возражений, потому что противоречило существующей точке зрения: как черные дыры могут что-то излучать? Когда я впервые огласил результаты моих расчетов на конференции в лаборатории им. Резерфорда (вблизи Оксфорда), они были встречены всеобщим недоверием. После моего выступления председатель семинара, Джон Дж. Тейлор из лондонского Кингз-Колледж, назвал все изложенное ерундой. Он даже написал об этом статью.

Однако в конечном счете большинство (включая и Джона Тейлора) вынуждено было прийти к заключению, что черные дыры должны излучать, подобно нагретым телам, если справедливы наши взгляды на общую теорию относительности и квантовую механику. Таким образом, хотя мы пока не смогли отыскать ни одной первичной черной дыры, все согласны с тем, что если таковая обнаружится, то она должна будет обладать мощным гамма- и рентгеновским излучением. Если мы ее отыщем, я получу Нобелевскую премию.

Существование излучения черных дыр, похоже, предполагает, что гравитационный коллапс не столь необратимый и конечный процесс, как мы некогда считали. Если астронавт упадет в черную дыру, ее масса увеличится. Рано или поздно энергия, эквивалентная добавочной массе, вернется во Вселенную в форме излучения. Так что астронавт будет использован в некотором смысле как оборотное сырье. Это, однако, бессмертие не лучшего свойства, потому что личное представление астронавта о времени, конечно, оборвется, когда его существование прекратится в черной дыре. Даже частицы, испущенные впоследствии черной дырой, в общем и целом окажутся иного типа, чем те, что составляли астронавта. От него сохранится только масса или энергия.

Приближения, использованные мною при выводе уравнений излучения черной дыры, должны хорошо работать, когда масса черной дыры больше доли грамма. Однако они не

работают на последней стадии ее жизненного цикла, когда масса черной дыры становится очень маленькой. Наиболее вероятным исходом представляется исчезновение черной дыры, по крайней мере из нашей области Вселенной. Она прихватит с собой астронавта и все сингулярности, которые могут в ней заключаться. Это было первым указанием на то, что квантовая механика способна исключить сингулярности, предсказанные классической общей теорией относительности. При всем том методы, которые я и другие ученые использовали в 1974 г. для изучения квантовых эффектов гравитации, не давали ответа на все вопросы, в частности на такой: возникают ли сингулярности в квантовой теории гравитации?

Поэтому начиная с 1975 г. я занялся разработкой более эффективного подхода к квантовой гравитации, основанного на методе суммирования по траекториям, который был предложен Фейнманом. Ответы, предлагаемые этим подходом для происхождения и судьбы Вселенной, будут изложены в двух следующих лекциях. Вы увидите, что квантовая механика допускает иное начало Вселенной, нежели сингулярность. Это означает, что нет нужды в нарушении законов физики в момент рождения Вселенной. Состояние Вселенной и ее содержимое (включая нас) полностью определяются законами физики вплоть до предела, установленного принципом неопределенности. Для свободы воли этого более чем достаточно.

ПЯТАЯ ЛЕКЦИЯ

ПРОИСХОЖДЕНИЕ И СУДЬБА ВСЕЛЕННОЙ

На протяжении 1970-х гг. я занимался в основном черными дырами. Однако в 1981 г. во мне вновь проснулся интерес к происхождению Вселенной, разбуженный участием в конференции по космологии в Ватикане. Католическая церковь допустила большую ошибку с Галилеем, когда пыталась навести свои порядки в науке, провозгласив, что Солнце обращается вокруг Земли. И вот, столетия спустя, церковь почла за лучшее пригласить ряд специалистов, чтобы посоветоваться по вопросам космологии.

По завершении конференции ее участники были удостоены аудиенции у Папы Римского. Он сказал нам, что приветствует исследование истории Вселенной после Большого Взрыва, но считает, что мы не должны углубляться в изучение самого Большого Взрыва, поскольку это акт Творения, а значит, деяние Бога.

Я был рад, что Папа не знает темы доклада, только что сделанного мной на конференции. Я совсем не жаждал разделить судьбу Галилея; он мне очень симпатичен — отчасти потому, что я родился ровно три столетия спустя после его смерти.

МОДЕЛЬ ГОРЯЧЕГО БОЛЬШОГО ВЗРЫВА

Чтобы объяснить, о чем шла речь в моем докладе, я должен сначала изложить общепринятую историю Вселенной в соот-

ветствии с тем, что известно под названием «модель горячего Большого Взрыва». Она предполагает, что Вселенная в период от нынешнего времени до Большого Взрыва описывается моделью Фридмана. В таких моделях расширение Вселенной сопровождается снижением температуры материи и интенсивности излучения. Поскольку температура — это всего лишь мера средней энергии частиц, охлаждение Вселенной оказывает основополагающее влияние на содержащуюся в ней материю. При очень высоких температурах частицы движутся с такой значительной скоростью, что избегают взаимного притяжения, обусловленного ядерными или электромагнитными силами. Однако следует ожидать, что при охлаждении частицы, которые притягиваются друг к другу, начнут «слипаться».

В момент Большого Взрыва Вселенная имела нулевые размеры, а значит, была бесконечно горячей. Но по мере расширения температура ее излучения должна была уменьшаться. Через одну секунду после Большого Взрыва она упала до десяти миллиардов градусов. Это примерно в тысячу раз больше температуры в центре Солнца и соответствует температуре, возникающей при взрыве водородной бомбы. В это время Вселенная состояла в основном из фотонов, электронов, нейтрино и соответствующих им античастиц, а также некоторого числа протонов и нейтронов.

По ходу расширения и остывания Вселенной скорость образования электронов и электронных пар при столкновениях частиц должна была стать ниже той скорости, с которой они разрушаются при аннигиляции. Так что бóльшая часть электронов и антиэлектронов должна была аннигилировать, порождая все больше фотонов и оставляя совсем мало электронов.

Примерно через сто секунд после Большого Взрыва температура должна была упасть до одного миллиарда градусов,

что соответствует температуре внутри самых горячих звезд. При такой температуре протоны и нейтроны уже не обладают достаточной энергией, для того чтобы избежать взаимного притяжения, обусловленного сильным ядерным взаимодействием. Они начинают объединяться, формируя ядра атомов дейтерия (тяжелого водорода), состоящие из одного протона и одного нейтрона. Присоединяя другие протоны и нейтроны, ядра дейтерия становятся ядрами гелия, содержащими два протона и два нейтрона. Образуется и небольшое количество ядер более тяжелых элементов, лития и бериллия.

Можно подсчитать, что, согласно модели горячего Большого Взрыва, примерно четверть протонов и нейтронов должна превратиться в ядра гелия, а также в небольшое количество тяжелого водорода и других элементов. Оставшиеся нейтроны распадаются на протоны, представляющие собой ядра атомов обычного водорода. Эти предсказания прекрасно согласуются с наблюдениями.

Модель горячего Большого Взрыва также предсказывает, что мы должны иметь возможность наблюдать излучение, сохранившееся с ранних, «горячих», этапов развития Вселенной. Однако из-за постоянного расширения Вселенной температура этого начального излучения должна была понизиться до величины, лишь на несколько градусов превышающей абсолютный нуль. Этим объясняется существование микроволнового фонового излучения, обнаруженного Пензиасом и Уилсоном в 1965 г. Поэтому мы почти уверены, что располагаем верной картиной случившегося, по крайней мере на протяжении от нынешнего времени до момента через секунду после Большого Взрыва. Всего лишь через несколько часов после Большого Взрыва формирование ядер гелия и других элементов должно было прекратиться. А затем на протяжении миллиона лет или около того Вселенная должна была лишь продолжать расширяться без каких-либо особенных

событий. И вот, когда температура упала до нескольких тысяч градусов, электроны и ядра перестали обладать энергией, необходимой для противодействия электромагнитному притяжению между ними. Они начали объединяться в атомы.

Вселенная же в целом продолжала расширяться и остывать. Однако в областях с плотностью немного выше средней расширение замедлялось повышенным гравитационным притяжением. Это должно было в конце концов остановить расширение в некоторых областях и вызвать там сжатие. По мере сжатия гравитационная тяга материи за пределами этих областей могла привести к тому, что они начали медленно вращаться. Чем меньше становилась сжимающаяся область, тем быстрее она вращалась (так фигуристы увеличивают частоту своего вращения, прижимая руки к телу). Наконец, когда область сделалась достаточно малой, частота вращения стала достаточной, чтобы уравновесить гравитационное притяжение. Таким образом возникли вращающиеся дисковидные галактики.

С течением времени газ в галактиках распался на облака, которые сжимаются под воздействием собственного притяжения. При сжатии газа он нагревается до температур, запускающих ядерные реакции. Водород превращается в гелий, и выделяющееся тепло повышает давление, чем останавливает дальнейшее сжатие облаков. В таком состоянии они могут оставаться долгое время, как звезды, подобные нашему Солнцу, сжигая водород, который превращается в гелий, и излучая энергию в виде тепла и света.

Чем массивнее звезды, тем горячее они должны быть, чтобы сопротивляться своему мощному гравитационному притяжению. А это настолько сильно ускоряет термоядерные реакции, что такие звезды сжигают весь свой водород за сравнительно короткое время — примерно за сто миллионов лет. Затем они слегка сжимаются и, разогреваясь дальше, начинают преобразовывать гелий в более тяжелые химические элементы, такие как углерод и кислород. Это, однако, высвобождает не намного больше энергии, так что наступает кризис, который я описал в лекции о черных дырах.

Что происходит дальше, не совсем ясно, но представляется вероятным, что центральные области звезды должны сжаться до сверхплотного состояния, характерного для нейтронных звезд или черных дыр. Внешнюю оболочку может разметать так называемая вспышка сверхновой — чудовищный взрыв, сияние которого превосходит яркость всех остальных звезд в галактике. Некоторые из более тяжелых элементов, образовавшихся в конце жизненного цикла звезды, будут выброшены назад в галактический газ. Они станут сырьем для следующего поколения звезд.

Наше Солнце содержит примерно 2 % таких более тяжелых элементов, так как это звезда второго или третьего поколения. Оно сформировалось около пяти миллиардов лет назад из облака вращающегося газа, которое содержало остатки более ранних сверхновых. Бóльшая часть газа в этом облаке пошла на образование Солнца или была выброшена вовне. Однако небольшое количество более тяжелых элементов объединилось в небесные тела — планеты, подобные Земле, — которые обращаются теперь вокруг Солнца.

ОТКРЫТЫЕ ВОПРОСЫ

Картина Вселенной, в начале своего развития очень горячей и остывавшей по мере расширения, хорошо согласуется с данными наблюдений, которые мы имеем сегодня. Тем не менее она оставляет без ответа ряд важных вопросов. Во-первых, почему новорожденная Вселенная была такой горячей? Во-вторых, почему Вселенная столь однородна

в больших масштабах, почему она выглядит одинаково из всех точек пространства и во всех направлениях?

В-третьих, почему в самом начале скорость расширения Вселенной была столь близка к критической, что едва позволяла избежать немедленного обратного сжатия? Если бы через секунду после Большого Взрыва эта скорость была меньше всего на миллиардную часть от миллиардной доли, Вселенная тут же пережила бы коллапс, не достигнув наблюдаемых ныне размеров. С другой стороны, будь скорость расширения в ту секунду на столь же ничтожную долю больше требуемой, Вселенная расширилась бы настолько, что сейчас была бы практически пустой.

В-четвертых, несмотря на однородность Вселенной в больших масштабах, она содержит локальные скопления материи в виде звезд и галактик. Предполагается, что они возникли за счет небольших различий плотности вещества в разных областях Вселенной на ранних стадиях ее развития. Но из-за чего возникли эти различия плотности?

Общая теория относительности сама по себе не может объяснить эти особенности и ответить на эти вопросы. А всё потому, что она предсказывает: Вселенная началась с бесконечной плотности, с сингулярности Большого Взрыва. В сингулярности, в этой особой точке, общая теория относительности и все известные нам физические законы не действуют. Нельзя предсказать, что́ выйдет из сингулярности. Как я уже объяснял, это означает, что мы вправе исключить из теории все события, которые происходили до Большого Взрыва, потому что они не возымеют влияния на то, что доступно нашему наблюдению. Пространство-время имеет границу — начало в момент Большого Взрыва. Почему Вселенная должна была начаться с Большого Взрыва именно тем образом, который привел ее к состоянию, наблюдаемому нами сегодня? Почему она столь однородна и расширяется именно с критической скоростью, позволяющей избежать коллапса? Нам стало бы легче, если бы мы смогли показать, что небольшой набор различных начальных конфигураций Вселенной мог привести ее к современному состоянию.

Если дело обстоит именно так, Вселенная, которая развилась из некоторых случайных начальных условий, должна содержать ряд областей, сходных с теми, что мы наблюдаем. Кроме того, могли существовать совершенно иные области. Однако они, вероятно, не подходят для формирования галактик и звезд. Это весьма существенное обстоятельство для развития разумной жизни, по крайней мере такой, какая известна нам. Так что в этих областях не может быть существ, способных увидеть, что они, эти области, иные.

Говоря о космологии, следует учитывать принцип отбора, состоящий в том, что мы населяем область Вселенной, пригодную для развития разумной жизни. Это весьма простое и очевидное соображение иногда называют антропным принципом. С другой стороны, представьте, что начальное состояние Вселенной должно быть выбрано с большой тщательностью, чтобы привести к тому, что мы видим вокруг себя. Тогда во Вселенной вряд ли сыскалось бы место, где могла возникнуть жизнь.

В описанной выше модели горячего Большого Взрыва на ранних стадиях развития Вселенной не имеется периода времени, достаточного для передачи тепла от одной области к другой. Это означает, что различные области Вселенной должны были иметь абсолютно одинаковую начальную температуру, чтобы это согласовалось с тем фактом, что температура фонового микроволнового излучения одинакова во всех направлениях, куда бы мы ни посмотрели. Кроме того, начальная скорость расширения должна была выбираться с большой точностью, чтобы Вселенная не схлопнулась к настоящему моменту. Следовательно, начальное состояние

Вселенной в самом деле должно быть выбрано крайне тщательно, если модель горячего Большого Взрыва справедлива на отрезке от нынешнего момента и вплоть до самого начала времени. Почему Вселенная зародилась именно так, очень трудно объяснить чем-либо иным, кроме воли Бога, который намеревался сотворить существ, подобных нам.

ИНФЛЯЦИОННАЯ МОДЕЛЬ

Для того чтобы избежать описанных трудностей, связанных с самыми ранними стадиями в модели горячего Большого Взрыва, Алан Гут из Массачусетского технологического института предложил новую модель*. В модели Гута множество различных начальных конфигураций могут эволюционировать в некое подобие нынешней Вселенной. Гут предположил, что новорожденная Вселенная могла пережить период очень быстрого, экспоненциального, расширения. Такое расширение называют инфляционным — по аналогии со стремительным ростом цен, в большей или меньшей степени происходящим в каждой стране. Мировой рекорд инфляции цен, вероятно, был поставлен в Германии после Первой мировой войны, когда цена буханки хлеба за несколько месяцев подскочила от одной марки до нескольких миллионов. Инфляция, которая, как мы думаем, могла происходить в масштабе Вселенной, была гораздо значительней: размеры Вселенной за ничтожную долю секунды выросли в миллион миллионов миллионов миллионов миллионов раз. Гут допустил, что Вселенная после Большого Взрыва была очень

* Первым, еще до Гута, аналогичную модель ранней стадии расширения Вселенной предложил советский физик Алексей Старобинский, в публикации которого эта стадия называлась деситтеровской. — *Примеч. науч. ред.*

горячей. Правомерно ожидать, что при крайне высоких температурах сильные и слабые ядерные силы должны объединиться с электромагнитной силой в некую единую силу. Расширяясь, Вселенная остывала, и энергия частиц уменьшалась. Рано или поздно должно было произойти то, что называют фазовым переходом, и симметрия сил была нарушена. Сильное ядерное взаимодействие отделилось от слабого и электромагнитного. Типичным примером фазового перехода может служить превращение воды в лед при охлаждении. Жидкая вода симметрична, обладает одинаковыми свойствами во всех точках и во всех направлениях. Однако образующиеся при замерзании кристаллы льда характеризуются выделенной направленностью и заметной пространственной упорядоченностью. Это нарушает симметрию воды.

При известном старании воду можно переохладить — добиться того, чтобы ее температура опустилась ниже точки замерзания (0 °C), но лед не образовался. Гут предположил, что нечто подобное происходило со Вселенной: температура стала ниже критического значения, но симметрия физических взаимодействий не была нарушена. Если произошло нечто подобное, Вселенная должна была прийти в нестабильное состояние, энергия которого выше, чем у состояния с нарушенной симметрией. Можно показать, что эта особая избыточная энергия обладала антигравитационным эффектом. Она должна была действовать как космологическая постоянная.

Эйнштейн ввел космологическую постоянную в общую теорию относительности, когда пытался построить стационарную модель Вселенной. Однако в рассматриваемом нами случае Вселенная уже расширяется. Отталкивающий эффект космологической постоянной заставил бы Вселенную расширяться с постоянно возрастающей скоростью. Даже в тех областях, где содержание частиц выше среднего, гравитационное притяжение материи уступает отталкиванию, обуслов-

ленному эффективной космологической постоянной. Так что и такие области будут расширяться в ускоренном, инфляционном, режиме.

По мере расширения Вселенной расстояние между частицами увеличивается. А значит, мы можем получить Вселенную, где едва ли найдется хоть одна частица. Она все еще будет оставаться в переохлажденном состоянии, при котором сохраняется симметрия между взаимодействиями. Любые неоднородности будут попросту сглажены расширением, как разглаживаются складки на туго надутом воздушном шарике. Таким образом, современное гладкое и однородное состояние Вселенной могло возникнуть из множества различных неоднородных начальных состояний. Скорость расширения также стремится к критической, позволяющей избежать коллапса.

Более того, инфляционная модель позволяет объяснить, почему во Вселенной так много материи. В наблюдаемой нами области Вселенной насчитывается около 10^{80} элементарных частиц. Откуда они могли появиться? Ответ таков: согласно квантовой теории, частицы могут возникать из энергии в виде пар частица/античастица. Но откуда берется необходимая для этого энергия? Объяснение состоит в том, что полная энергия Вселенной в точности равна нулю.

Вещество во Вселенной возникло из положительной энергии. Однако материя притягивает самое себя под действием гравитации. Два куска материи, которые находятся близко друг к другу, обладают меньшей энергией, чем те, которые разделены большим расстоянием. Это происходит потому, что для их разделения необходимо затратить энергию. Вы должны преодолеть действующие между ними гравитационные силы. Так что в каком-то смысле можно утверждать, что гравитационное поле обладает отрицательной энергией. При рассмотрении Вселенной в целом можно показать, что

отрицательная гравитационная энергия погашает всю положительную энергию материи. А следовательно, полная энергия Вселенной равна нулю.

Итак, удвоение нуля дает нуль. Поэтому Вселенная может удвоить количество положительной энергии материи и удвоить количество отрицательной гравитационной энергии, не нарушив закона сохранения энергии. Этого не случается при обычном расширении Вселенной, когда плотность энергии вещества уменьшается с увеличением Вселенной. Но это происходит при инфляционном расширении, потому что плотность энергии в переохлажденном состоянии остается постоянной, в то время как Вселенная расширяется. Когда Вселенная удваивается в размерах, позитивная энергия материи и отрицательная гравитационная энергия удваиваются тоже, так что полная энергия остается равной нулю. Во время инфляционной фазы размеры Вселенной увеличиваются очень сильно. И общее количество энергии, из которой могут образовываться частицы, становится очень велико. Гут заметил по этому поводу: «Говорят, бесплатных завтраков не бывает. Но Вселенная — самый большой бесплатный завтрак».

КОНЕЦ ИНФЛЯЦИИ

В настоящее время расширение Вселенной уже не носит инфляционного характера. Так что должен существовать некий механизм, исключающий очень большую эффективную космологическую константу. Это заменило бы скорость расширения с возрастающей на замедленную гравитацией, какую мы наблюдаем сейчас. Можно ожидать, что по мере расширения и остывания Вселенной рано или поздно симметрия физических взаимодействий будет нарушена, подобно

тому как переохлажденная вода в конце концов всегда замерзает. Избыточная энергия состояния с ненарушенной симметрией высвободится, вновь нагрев Вселенную. Затем расширение и остывание Вселенной продолжатся в полном соответствии с моделью горячего Большого Взрыва. Однако теперь у нас будет объяснение того, почему скорость расширения в точности равна критической и почему разные области пространства имеют одинаковую температуру.

В первоначальной модели Гута предполагалось, что фазовый переход к нарушенной симметрии происходит внезапно, как возникновение кристаллов льда в переохлажденной воде. Идея состояла в том, что «пузырьки» новой фазы (с нарушенной симметрией) зарождаются в недрах старого фазового состояния, подобно тому как пузырьки пара возникают в закипающей воде. Предполагалось, что «пузырьки» расширяются и постепенно сливаются друг с другом до тех пор, пока все пространство не окажется захвачено новой фазой. Но вот незадача (на это указывал я и ряд других ученых): Вселенная расширялась настолько быстро, что образующиеся пузырьки просто не успевали слиться друг с другом, а разбегались в пространстве. Вселенная должна была остаться в крайне неоднородном состоянии, при котором в некоторых ее областях сохранялась бы симметрия между различными силами. Такая модель Вселенной не согласуется с тем, что мы наблюдаем.

В октябре 1981 г. я отправился в Москву на конференцию по квантовой гравитации. А после нее провел семинар по инфляционной модели в Астрономическом институте им. Штернберга. В семинаре участвовал молодой советский исследователь Андрей Линде. Он сказал, что сложности, связанной с тем, что пузырьки не сливаются, можно избежать, если предположить, что пузырьки были очень большими.

В этом случае наша область Вселенной может заключаться внутри одного пузырька. Для того чтобы это работало, переход от симметрии к ее нарушению должен происходить очень медленно и внутри пузырька, что вполне возможно в соответствии с великими объединенными теориями.

Идея Линде о медленном нарушении симметрии была очень хороша, но я указал, что его пузырьки могут превосходить размер Вселенной в то время. Я продемонстрировал, что симметрия одновременно нарушалась бы повсеместно, а не только внутри пузырьков. Это привело бы к однородной Вселенной, какую мы наблюдаем. Модель медленного нарушения симметрии была удачной попыткой объяснить современное состояние Вселенной. Однако я и некоторые коллеги отметили, что предсказываемые ею колебания микроволнового фонового излучения намного превышают наблюдаемые. Кроме того, более поздние работы заронили сомнение в том, происходили ли правильные фазовые переходы на ранних стадиях развития Вселенной. Более удачной оказалась хаотическая инфляционная модель, предложенная Линде в 1983 г. Она не зависела от фазовых переходов и давала правильные значения вариаций микроволнового фона. В соответствии с ней современное состояние Вселенной могло возникнуть из очень большого числа различных исходных конфигураций. При всем том не могло быть такого, чтобы каждая из них приводила к появлению Вселенной, которую мы наблюдаем. Таким образом, даже инфляционная модель не объясняет нам, почему начальные условия были такими, какие могут привести к формированию наблюдаемой Вселенной. Должны ли мы вернуться для объяснения к антропному принципу? Не было ли все это просто счастливой случайностью? Решение согласиться с этим выглядело бы шагом отчаяния, отказом от всех наших надежд понять порядок, лежащий в основе Вселенной.

КВАНТОВАЯ ГРАВИТАЦИЯ

Для предсказания того, как должна была зародиться Вселенная, нужно установить законы природы, которые действовали в начале времени. Если справедлива классическая общая теория относительности, то из теоремы сингулярности следует, что начало времени должно было представлять собой точку, где плотность материи и кривизна пространства были бесконечны. Все известные нам законы природы там должны нарушаться. Можно предположить, что там действовали особые законы, не нарушаемые в сингулярностях, но было бы крайне трудно даже сформулировать физические законы для таких своенравных точек, и наблюдения не подсказали бы нам, какими могут быть эти законы. Однако теоремы о сингулярности показывают, что при столь значительном усилении гравитационного поля особую важность приобретают эффекты квантовой гравитации. Классическая теория больше не может служить хорошим описанием Вселенной. Поэтому, обсуждая самые ранние этапы развития Вселенной, надо использовать квантовую теорию гравитации. Как мы покажем далее, квантовая механика допускает повсеместное соблюдение обычных физических законов — включая начало времени. Нет нужды постулировать новые законы для сингулярностей, потому что квантовая теория не нуждается в сингулярностях.

Мы пока не имеем полной и последовательной теории, объединяющей квантовую механику и гравитацию. Но мы совершенно уверены в некоторых особенностях, которыми должна обладать объединенная теория. Прежде всего, должно быть учтено предложение Фейнмана о формулировании квантовой теории на основе сумм по траекториям (историям частиц). При таком подходе частица, перемещающаяся из точки *A* в точку *B*, имеет не одну историю, как в классической теории. Вместо этого

предполагается, что она следует каждым из возможных путей в пространстве-времени. Каждой такой истории соответствует пара чисел, одно из которых характеризует размеры волны, а второе — ее положение в цикле, то есть фазу.

Вероятность того, что частица, скажем, минует некоторые особые точки, определяется путем сложения волн, связанных с каждой возможной историей, которая проходит через эту точку. Однако практические попытки выполнить это сложение обычно наталкиваются на серьезные технические трудности. Единственный способ обойти их — последовать такому своеобразному предписанию: нужно складывать волны для историй частиц, которые происходят не в реальном времени, привычном для нас, а в мнимом.

Выражение «мнимое время» словно бы взято из научной фантастики, но на самом деле это точно определенное математическое понятие. Чтобы избежать технических трудностей при фейнмановском суммировании по историям, следует использовать мнимое время. Это оказывает интересное влияние на пространство-время: различие между пространством и временем совершенно стирается. Пространство-время, в котором событиям соответствуют мнимые значения временны́х координат, признается евклидовым, потому что метрика определенно-положительна.

В евклидовом пространстве-времени нет разницы между направлением времени и направлениями в пространстве. С другой стороны, в реальном пространстве-времени, где события характеризуются реальными значениями временны́х координат, разницу установить легко. Направление времени лежит внутри светового конуса, а пространственные направления — вне его. Можно посчитать, что использование мнимого времени просто-напросто математический прием, уловка, помогающая вычислить результаты для реального пространства-времени. Однако может статься, что этим дело

не ограничивается. Возможно, что евклидово пространство-время — фундаментальное понятие, а наши представления о реальном пространстве-времени не более чем плод воображения.

Когда мы применяем для Вселенной фейнмановский метод суммирования по историям, аналогом истории частицы выступает уже все искривленное пространство-время, которое представляет историю всей Вселенной. По техническим причинам, о которых говорилось выше, это искривленное пространство-время должно восприниматься как евклидово. Иначе говоря, время является мнимым и неотличимо от направлений в пространстве. Для того чтобы вычислить вероятность обнаружения реального пространства-времени с заданными характеристиками, нужно сложить волны, связанные с теми траекториями в мнимом времени, которые обладают требуемыми характеристиками. Проделав вычисления, можно получить вероятностную историю Вселенной в реальном времени.

ОТСУТСТВИЕ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ

В классической теории тяготения, в основе которой лежит реальное пространство-время, имеется лишь два возможных варианта поведения Вселенной. Она или существовала вечно, или берет начало в сингулярности в некоторый конечный момент прошлого. Теоремы о сингулярности показывают, что должен был иметь место второй вариант. С другой стороны, квантовая теория гравитации предлагает третью возможность. Поскольку мы имеем дело с евклидовым пространством-временем, в котором направление времени уравнено с направлениями в пространстве, пространство-время может быть конечным по протяженности, но при этом

не иметь сингулярностей, которые формируют границу или край. Пространство-время в этом случае будет подобно поверхности Земли, только с двумя дополнительными измерениями. Поверхность Земли конечна по протяженности, но не имеет границы или края. Отплыв на запад, вы не упадете с края света и не натолкнетесь на сингулярность. Уж я-то знаю, потому что огибал земной шар.

В евклидовом пространстве-времени, двигаясь назад к бесконечному мнимому времени или чему-то другому, начинающемуся в сингулярности, мы, как и в классической теории, столкнемся с проблемой определения начального состояния Вселенной. Бог может знать, как началась Вселенная, но мы не в состоянии привести каких-либо особых доводов в пользу того, что она зарождалась так, а не иначе. С другой стороны, квантовая теория гравитации открыла новую возможность: пространство-время вообще не имеет границ. Так что нет нужды устанавливать их поведение. Нет ни сингулярностей, в которых нарушаются законы физики, ни края пространства-времени, который заставил бы нас апеллировать к Богу или выводить новый закон граничных условий пространства-времени. Скажем так: граничные условия для Вселенной состоят в отсутствии у нее границ. Вселенная должна быть абсолютно замкнутой и независимой от чего-либо лежащего вне ее. Ее нельзя ни создать, ни уничтожить. Она должна просто существовать.

Именно на конференции в Ватикане я впервые выдвинул предположение, что, возможно, время и пространство вместе образуют поверхность конечных размеров, не имеющую границы или края. Мой доклад был, однако, скорее математическим, поэтому напрашивающиеся из него выводы о роли Бога в сотворении Вселенной ускользнули тогда от внимания слушателей (и моего тоже). Во время ватиканской конференции я не знал, как использовать идею отсутствия

границ для прогнозов о Вселенной. Следующее лето я провел в Университете Калифорнии в Санта-Барбаре. Мой друг и коллега Джим Хартл помог мне сформулировать условия, которым должна удовлетворять Вселенная, если у пространства-времени нет границы.

Должен подчеркнуть, что эта идея о конечном пространстве-времени, не имеющем границы, всего лишь предположение. Она не выводится логически из каких-либо других принципов. Как и любая другая научная теория, она могла быть изначально подсказана эстетическими или метафизическими соображениями, подтвердить же ее истинность должно соответствие теоретических предсказаний наблюдениям. Однако в случае квантовой механики произвести такую проверку весьма затруднительно, и на то есть две причины. Во-первых, мы все еще не знаем наверняка, какая теория успешно объединяет в себе общую теорию относительности и квантовую механику, хотя нам довольно много известно о том, какую форму должна иметь подобная теория. Во-вторых, любая модель, детально описывающая Вселенную в целом, должна быть слишком сложной математически, чтобы мы могли проделать вычисления для точных предсказаний. Так что придется довольствоваться приближениями, но даже и тогда проблема вывода предсказаний остается сложной.

Если принять предположение об отсутствии границы, выясняется: шансы обнаружить, что Вселенная следует большинству возможных историй, пренебрежимо малы. Но существует особое семейство историй, которые гораздо более вероятны, чем остальные. Эти истории можно уподобить поверхности Земли, где расстояние от Северного полюса представляет собой мнимое время, а величина широтного круга отображает пространственный размер Вселенной. Вселенная начинается на Северном полюсе в виде одиночной точки. По мере продвижения на юг широтный круг становится все больше, соответствуя расширению Вселенной в мнимом времени. Вселенная достигнет максимального размера на экваторе и снова сойдется в одиночную точку на Южном полюсе. Даже если бы она имела нулевые размеры на Северном и Южном полюсах, эти точки не были бы сингулярностями, как не являются ими Северный и Южный полюса Земли. Законы природы будут соблюдаться в начале Вселенной, как они соблюдаются на полюсах нашей планеты.

История Вселенной в реальном времени, однако, выглядела бы совершенно иначе. Она начиналась бы с некоторого минимального размера, равного максимальному размеру истории в мнимом времени. Вселенная расширялась бы в реальном времени согласно инфляционной модели. Впрочем, не стоит теперь предполагать, будто Вселенная была так или иначе создана в правильном состоянии. Вселенная расширилась бы до очень больших размеров, но рано или поздно схлопнулась бы, став чем-то вроде сингулярности в реальном времени. Таким образом, в каком-то смысле мы все обречены, даже если держимся подальше от черных дыр. Только описание Вселенной на основе мнимого времени избавит нас от сингулярностей.

Теоремы о сингулярности в классической общей теории относительности показывают, что Вселенная должна иметь начало и что это начало следует описывать с помощью квантовой теории. Это, в свою очередь, приводит к идее, что Вселенная может быть конечной в мнимом времени, но не иметь границ или сингулярностей. Если вернуться в реальное время, в котором мы живем, сингулярности возникнут вновь. Несчастного астронавта, угодившего в черную дыру, по-прежнему постигнет печальный конец. Избежать встречи с сингулярностями он мог бы лишь в мнимом времени.

Возможно, это предполагает, что именно так называемое мнимое время является основным, а то, что мы называем

реальным временем, есть лишь плод нашего ума. В реальном времени Вселенная имеет начало и конец в сингулярностях, которые формируют границу пространства-времени и в которых нарушаются физические законы. Но в мнимом времени нет ни сингулярностей, ни границ. Так что, возможно, на самом деле мнимое время — основное, а то, что мы называем реальным временем, не более чем идея, придуманная нами для описания своих представлений о Вселенной. Но в соответствии с подходом, который я изложил в первой лекции, научная теория — это всего лишь математическая модель, которую мы вырабатываем для описания наблюдений. Она существует только в нашем сознании. А значит, бессмысленно спрашивать, что подлинно — реальное или мнимое время. Суть лишь в том, какое из них удобнее использовать для описания.

Предположение об отсутствии границы, похоже, предсказывает, что в реальном времени поведение Вселенной должно соответствовать инфляционным моделям. Особо интересная проблема — это величина небольших отклонений от однородной плотности в ранней Вселенной. Считается, что именно они привели к появлению сперва галактик, затем — звезд и наконец — разумных существ, таких как мы. Согласно принципу неопределенности, ранняя Вселенная не могла быть совершенно однородной. Напротив, положение или скорость частиц должны были иметь некоторый разброс, или флуктуации, значений. Если же принять предположение об отсутствии границ, то оказывается, что для начала Вселенной хватило бы всего лишь минимально возможной неоднородности, допускаемой принципом неопределенности.

Тогда Вселенная должна была пережить период стремительного расширения, как в инфляционных моделях. На протяжении этого периода исходные неоднородности разрастались бы, пока не достигли размеров, достаточных, чтобы объяснить возникновение галактик. Таким образом, все сложные структуры, которые мы наблюдаем во Вселенной, можно объяснить с помощью условия об отсутствии границ и принципа неопределенности квантовой механики.

Идея о том, что пространство и время может представлять собой замкнутую поверхность без границы, имеет глубокие следствия для того, какова роль Бога в делах Вселенной. В результате успешного применения научных теорий для описания событий большинство людей пришло к убеждению, что Бог позволяет Вселенной развиваться в соответствии с неким набором физических законов. Похоже, Он ни во что не вмешивается во Вселенной, дабы не нарушить этих законов. Однако физические законы не говорят нам, как выглядела Вселенная в момент своего возникновения. Право завести часовой механизм и решить, каким должно быть начало Вселенной, по-прежнему остается за Господом. Пока предполагается, что Вселенная имела началом сингулярность, правомерно допустить, что она была сотворена некой внешней силой. Но если Вселенная действительно полностью замкнута и не имеет ни границы, ни края, она никогда не может быть ни создана, ни уничтожена. Она просто должна существовать. Где же тогда место Создателя?

ШЕСТАЯ ЛЕКЦИЯ

НАПРАВЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ

В своем романе «Посредник» Лесли Поулз Хартли пишет: «Прошлое — это чужая страна. Там все делается иначе — но почему прошлое столь отлично от будущего? Почему мы помним прошлое, а не будущее?» Другими словами, почему время движется вперед? Не связано ли это с расширением Вселенной?

С, Р, Т: ЗАРЯД, ЧЕТНОСТЬ, ВРЕМЯ

Законы физики не делают различия между прошлым и будущим. Точнее, они не изменяются, если провести операцию, именуемую CPT(си-пи-ти)-преобразованием. Здесь латинская буква «С» обозначает замену частиц соответствующими им античастицами, «Р» — замену объекта его зеркальным изображением (в котором левое и правое меняются местами), «Т» — изменение направления движения всех частиц на противоположное (то есть обращение движения вспять). Законы физики, которые управляют поведением материи при нормальных условиях, не изменяются при операциях С и Р. Другими словами, жизнь будет той же самой для обитателей далекой планеты, созданных из антивещества и представляющих собой наши зеркальные отражения. Если пришелец с другой планеты протянет вам левую руку,

не пожимайте ее. Он может состоять из антиматерии. Вы оба исчезнете в чудовищной вспышке света. Если законы физики не изменяются при комбинировании операций С и Р, а также операций С, Р и Т, они должны сохраняться и при выполнении одной только операции Т. Однако в обычной жизни наблюдается огромная разница между двумя направлениями времени, то есть движением в прошлое и в будущее. Представьте себе, что чашка с водой падает со стола и разбивается вдребезги. Если снять это на кинопленку, вы легко определите, вперед или назад движутся события. Запустив пленку в обратном направлении, вы увидите, как осколки чашки собираются в единое целое и она запрыгивает обратно на стол. Вы сразу скажете, что лента запущена в обратном направлении, потому что предметы никогда не ведут себя подобным образом в повседневной жизни. Иначе производители столовой посуды давно прогорели бы.

СТРЕЛЫ ВРЕМЕНИ

Если вы спросите, почему разбитые чашки не собираются воедино и не взмывают на стол, вам ответят, что это запрещено вторым законом термодинамики. Он гласит, что беспорядок (энтропия) с течением времени может только возрастать. Другими словами, это так называемый закон Мерфи: события имеют тенденцию развиваться в худшую сторону. Состояние целой чашки на столе более упорядоченно, чем кучи осколков на полу. Поэтому переход от целой чашки на столе в прошлом к осколкам на полу в будущем естественен, а обратный — нет.

Возрастание беспорядка, или энтропии, с течением времени — один из примеров того, что называется *стрелой времени*, то есть чего-то, что сообщает времени направление и

позволяет различать прошлое и будущее. Существуют по меньшей мере три различные стрелы времени. Прежде всего, термодинамическая, то есть направление времени, в котором возрастает беспорядок, или энтропия. Во-вторых, есть психологическая стрела времени. Это направление, соответствующее тому, как мы воспринимаем течение времени, помня прошлое, а не будущее. Наконец, имеется космологическая стрела времени — направление времени, в котором Вселенная расширяется, а не сжимается.

Я покажу, что психологическая стрела предопределяется термодинамической и они всегда указывают в одном направлении. Если принять предположение об отсутствии границы у Вселенной, окажется, что эти две стрелы связаны с космологической, хотя направления их не обязательно совпадают. Однако я приведу доводы в пользу того, что лишь совпадение направлений всех трех стрел допускает существование разумных существ, которые могут спросить: а почему, собственно, беспорядок нарастает в том же направлении во времени, в каком расширяется Вселенная?

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

Я начну с рассмотрения термодинамической стрелы. Второй закон термодинамики основан на том, что число неупорядоченных состояний любой системы всегда намного превышает число упорядоченных. В качестве примера рассмотрим фрагменты пазла в коробке. Существует одна, и только одна, комбинация, при которой из разрозненных кусочков составляется картинка. С другой стороны, есть множество вариантов расположения, не заключающих в себе никакого смысла и не создающих целостного изображения.

Предположим, что некая система имела началом небольшой набор упорядоченных состояний. С течением времени система будет эволюционировать в соответствии с законами физики, и ее состояние изменится. Высока вероятность того, что позднее ее состояние станет более неупорядоченным, просто потому, что число неупорядоченных состояний очень велико. Таким образом, с течением времени беспорядок имеет тенденцию возрастать, если начальное состояние системы характеризовалось высокой упорядоченностью.

Пусть изначально фрагменты пазла уложены в коробке так, что составляют рисунок. Если мы встряхнем коробку, они сложатся иным образом. Скорее всего, это будет неправильное расположение, которое нарушит картинку, просто потому, что неправильных расположений очень много. Некоторые группы фрагментов все еще будут составлять части картинки, однако при долгом встряхивании и они наверняка рассыплются. Пазл придет в совершенно беспорядочное состояние, в котором его фрагменты не составляют никакой картинки. Таким образом, неупорядоченность фрагментов, вероятно, возрастет со временем, если они подчиняются начальному условию, требующему, чтобы исходное состояние системы было высоко упорядоченным.

Допустим, однако, что Бог решил: пусть Вселенная в будущем завершит свое существование, пребывая в состоянии высокой упорядоченности, но ее начальное состояние не имеет никакого значения. Тогда в ранние времена Вселенная, вероятно, пребывала бы в неупорядоченном состоянии и степень неупорядоченности уменьшалась бы со временем. Осколки разбившихся чашек соединялись бы и вспрыгивали на стол. Однако человеческие существа, наблюдающие такие чашки, жили бы в мире, где беспорядок уменьшается с течением времени. Я приведу доводы в пользу того, что у таких

людей психологическая стрела времени была бы направлена назад. Они бы помнили предстоящие времена и не помнили тех, что были раньше.

ПСИХОЛОГИЧЕСКАЯ СТРЕЛА ВРЕМЕНИ

Говорить о человеческой памяти очень трудно, потому что мы не знаем во всех деталях, как работает наш мозг. Однако мы знаем всё о том, как работает память компьютеров. Поэтому я буду рассматривать психологическую стрелу времени на примере компьютера. Мне кажется правомерным заключить, что стрела времени одинакова для вычислительных машин и для людей. Иначе можно было бы сорвать большой куш на фондовой бирже при помощи компьютера, помнящего завтрашние цены на акции.

Компьютерная память — это в основном некое устройство, которое пребывает в одном из двух состояний. Примером может служить сверхпроводящая проволочная петля. Если в ней есть электрический ток, он будет течь и течь, поскольку электрическое сопротивление в сверхпроводнике отсутствует. С другой стороны, при отсутствии тока петля будет существовать без него. Эти два состояния компьютерной памяти можно обозначить цифрами 1 и 0.

Прежде чем те или иные данные записаны в память, она имеет неупорядоченное состояние, которое с равной вероятностью описывается 1 и 0. После того как память вступает во взаимодействие с системой, которую необходимо запомнить, она определенно будет в одном состоянии или в другом в зависимости от состояния системы. Таким образом, память переходит от неупорядоченного состояния к упорядоченному. Однако для того чтобы память наверняка находилась в правильном состоянии, необходимо затратить некоторое

количество энергии. Тепловое рассеяние этой энергии увеличивает неупорядоченность Вселенной. Можно показать, что этот рост неупорядоченности больше роста упорядоченности в памяти. Так что, когда компьютер записывает информацию в свою память, общее количество неупорядоченности во Вселенной увеличивается.

Направление времени, в котором компьютер запоминает прошлое, такое же, в каком нарастает беспорядок (энтропия). Значит, наше субъективное восприятие направления времени, психологическая стрела времени, предопределяется термодинамической стрелой. Это делает второй закон термодинамики почти тривиальным. Беспорядок возрастает во времени, потому что мы отсчитываем время в том самом направлении, в котором нарастает беспорядок. Абсолютно беспроигрышный вариант.

ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ ДЛЯ ВСЕЛЕННОЙ

Но почему Вселенная должна была обладать очень упорядоченным состоянием на одном конце времени, том конце, который мы называем прошлым? Почему она не пребывает в состоянии полной неупорядоченности в любое время, всегда? Ведь это представляется более вероятным. И почему направление времени, в котором беспорядок нарастает, совпадает с тем, в каком расширяется Вселенная? Один из возможных ответов таков: Бог просто пожелал, чтобы Вселенная в начале фазы расширения находилась в однородном и упорядоченном состоянии. Мы не должны стараться понять почему или спрашивать, каковы были Его резоны, поскольку зарождение Вселенной — это деяние Бога. Но то же самое можно сказать и обо всей ее истории.

Похоже, что Вселенная развивается в согласии с четко определенными законами. Определены они Богом или нет, в любом случае мы способны открывать и постигать их. Не разумно ли в таком случае надеяться, что те же или сходные законы действовали при зарождении Вселенной? В классической общей теории относительности Вселенная начинается с сингулярности бесконечной плотности при бесконечной кривизне пространства-времени. При таких условиях должны нарушаться все известные законы физики. Так что их нельзя применять для предсказания того, как начиналась Вселенная.

Начальное состояние Вселенной могло быть весьма однородным и упорядоченным. Это привело к точно определенным термодинамической и космологической стрелам времени, какие мы наблюдаем. Но с такой же вероятностью развитие Вселенной могло начаться с предельно неоднородного и беспорядочного состояния. В этом случае беспорядок в совершенно хаотической Вселенной не мог возрастать со временем. Он должен был либо оставаться постоянным (в этом случае не существовало бы никакой определенной термодинамической стрелы времени), либо уменьшаться (и тогда термодинамическая и космологическая стрелы времени были бы направлены в противоположные стороны). Ни одна из этих возможностей не согласуется с наблюдениями.

Как я упоминал, классическая общая теория относительности предсказывает, что Вселенная возникает из сингулярности, в которой кривизна пространства-времени бесконечна. По сути, это означает, что классическая общая теория относительности предсказывает собственный крах. При очень больших искривлениях пространства-времени эффекты квантовой гравитации становятся существенными и классическая теория уже не дает удовлетворительного описания Вселенной. Для того чтобы понять, как зарождалась Вселенная, надо использовать квантовую теорию гравитации.

В квантовой теории гравитации рассмотрению подлежат все возможные истории Вселенной. И каждой истории соответствует пара чисел. Одно характеризует размер волны, а второе — ее фазу (гребень или впадина). Вероятность того, что Вселенная будет обладать тем или иным специфическим свойством, определяется сложением всех волн, соответствующих историям, которые обладают этим свойством. Истории должны представлять собой искривленные пространства, отображающие эволюцию Вселенной во времени. Но и тогда нам придется определить, как возможные истории Вселенной ведут себя на границе пространства-времени в прошлом. Мы не знаем и не можем знать граничных условий для Вселенной в прошлом. Однако этой трудности можно избежать, если граничные условия для Вселенной состоят в том, что у нее нет границы. Другими словами, все возможные истории конечны по протяженности, но не имеют ни границ, ни краев, ни сингулярностей. Все они напоминают поверхность Земли, которой приданы два дополнительных измерения. В этом случае начало времени должно быть обычной гладкой точкой в пространстве-времени. Значит, расширение Вселенной должно было начаться с очень ровного и упорядоченного состояния. Оно не могло быть совершенно однородным, потому что это нарушило бы принцип неопределенности квантовой теории. В распределениях плотности и скоростей частиц должны были иметься небольшие флуктуации. Условие об отсутствии границы, однако, лимитирует величину этих флуктуаций, сводя ее к минимально необходимому значению в соответствии с требованиями принципа неопределенности.

Развитие Вселенной должно было начаться с периода экспоненциального (инфляционного) расширения. Это привело бы к многократному увеличению ее размеров. Во время расширения флуктуации плотности сперва оставались бы небольшими, но затем начали бы расти. Расширение областей

с плотностью немного выше средней было бы замедлено гравитационным притяжением избыточной массы. Рано или поздно такие области вообще прекратили бы расширяться и пережили коллапс, ведущий к образованию галактик, звезд и существ, подобных нам.

Однородная и упорядоченная вначале, Вселенная с течением времени должна была становиться неоднородной и неупорядоченной. Этим объясняется существование термодинамической стрелы времени. Вселенная должна была начаться с состояния высокой степени упорядоченности и со временем стать менее упорядоченной. Как я показал ранее, психологическая стрела времени указывает в том же направлении, что и термодинамическая. Поэтому наше субъективное восприятие времени имело бы скорее ту же направленность, что и расширение Вселенной, нежели противоположную направленность, соответствующую сжатию.

ОБРАТИМА ЛИ СТРЕЛА ВРЕМЕНИ?

Но что произошло бы, если (когда) расширение Вселенной прекратилось бы, уступив место сжатию? Не обратилась бы вспять термодинамическая стрела времени и не начал бы беспорядок сокращаться с течением времени? Для людей, переживших переход от расширения к сжатию, это обернулось бы разного рода возможностями в духе научной фантастики. Увидят ли они, как разбитые чашки сами собой складываются из осколков и вспрыгивают на стол? Сколотят ли состояние на фондовой бирже, припомнив завтрашние котировки акций?

Вам может показаться сугубо умозрительным беспокойство о том, что случится в результате коллапса Вселенной, коль скоро размеры ее не начнут сокращаться в ближайшие десять

миллиардов лет. Но есть более быстрый способ определить, что́ случится, — прыгнуть в черную дыру. Коллапс звезды, которая должна превратиться в черную дыру, в значительной мере напоминает последние стадии коллапса всей Вселенной. Так что если беспорядок уменьшается в фазе сжатия Вселенной, можно ожидать, что он уменьшается и в черной дыре. Возможно, астронавт, угодивший в черную дыру, выиграет кучу денег в рулетку, припомнив, куда отправился шарик перед тем, как была сделана ставка. К несчастью, однако, в рулетку астронавт играл бы недолго, потому что очень сильные гравитационные поля быстро превратили бы его в лапшу. Равным образом он не смог бы ни сообщить нам, обратима ли термодинамическая стрела времени, ни положить свой выигрыш в банк, потому что навеки остался бы за горизонтом событий, пойманный в ловушку черной дыры.

Поначалу я верил в уменьшение беспорядка при обратном сжатии Вселенной. А все потому, что считал, будто с уменьшением размеров Вселенная должна вернуться к упорядоченному и однородному состоянию. Это означало бы, что в фазе сжатия время, за которое произошла стадия расширения, потечет вспять. Люди в фазе сжатия проживали бы свою жизнь от конца к началу. Умирали бы раньше, чем рождались, и молодели бы по мере сжатия Вселенной. Эта идея привлекательна, поскольку устанавливает точную симметрию между фазами расширения и сжатия. Однако ее нельзя принять саму по себе, независимо от других представлений о Вселенной. Вопрос в следующем: согласуется она или нет с предположением об отсутствии границы?

Как уже упоминалось, я поначалу думал, что условие об отсутствии границы действительно предполагает уменьшение беспорядка в фазе сжатия Вселенной. Это убеждение основывалось на работе над простой моделью Вселенной, в которой фаза сжатия похожа на обращенную во времени

фазу расширения. Однако мой коллега Дон Пейдж указал, что это условие вовсе не требует со всей неизбежностью, чтобы фаза сжатия была подобна обращенной во времени фазе расширения. Позднее мой студент Раймон Лафламм обнаружил, что в чуть более сложной модели процесс сжатия Вселенной существенно отличается от расширения. Я понял, что допустил ошибку. На самом деле условие отсутствия границы не предполагало, что беспорядок будет уменьшаться в фазе сжатия. Ни в сжимающейся Вселенной, ни в черной дыре термодинамическая и психологическая стрелы времени не меняют своего направления.

Что же делать, когда обнаруживаешь, что совершил такую ошибку? Кое-кто, подобно Эддингтону, никогда не признают, что ошибались. Они продолжают искать новые, зачастую взаимоисключающие, аргументы в поддержку своей позиции. Другие делают вид, будто никогда всерьез не поддерживали неверных взглядов, а если и поддерживали, то только для того, чтобы выявить их несостоятельность. Я мог бы привести множество примеров, но не стану, потому что это не прибавит мне популярности. Самым лучшим и щадящим самолюбие выходом мне представляется признание своей ошибки в печати. Хорошим примером может служить Альберт Эйнштейн, признавший, что введение космологической постоянной для обоснования стационарной модели Вселенной было величайшей ошибкой его жизни.

СЕДЬМАЯ ЛЕКЦИЯ

ТЕОРИЯ ВСЕГО

Было бы очень трудно с одной попытки создать полную объединенную теорию всего на свете. Так что вместо этого мы продвигались вперед, развивая частные теории. Они описывают ограниченный набор событий, пренебрегая другими эффектами или оценивая их приближенно определенными величинами. Например, в химии мы можем рассчитывать взаимодействия между атомами, не зная внутреннего строения атомного ядра. В идеале, конечно, мы должны стремиться к построению полной, непротиворечивой, объединенной теории, которая включала бы в себя все частные теории как приближения. Поиски такой теории получили название «объединения физики».

Эйнштейн почти все последние годы жизни потратил на неудачные поиски объединенной теории, однако ее время тогда еще не пришло: слишком мало было известно о ядерных силах. Более того, Эйнштейн отказывался верить в реальность квантовой механики, несмотря на ту важную роль, которую сыграл в ее развитии. Тем не менее принцип неопределенности, похоже, является фундаментальной особенностью Вселенной, в которой мы живем. Поэтому не может быть успешной объединенной теории без этого принципа.

Перспективы создания такой теории представляются более реальными сегодня, когда мы гораздо больше знаем о Вселенной. Но не стоит обольщаться. Мы уже обманывались

в прошлом. В начале XX в., например, считалось, что все можно объяснить с помощью свойств непрерывной материи, таких как упругость и теплопроводность. Конец этому положило открытие структуры атома и принципа неопределенности. В то время, в 1928 г., немецкий физик Макс Борн сказал группе посетителей Геттингенского университета: «Развитие известной нам физики, по-видимому, завершится в ближайшие шесть месяцев». Его уверенность опиралась на недавнее открытие Дирака, который вывел уравнение, описывающее поведение электрона. Предполагалось, что сходное уравнение будет управлять поведением протона, единственной другой элементарной частицы, известной в то время, и это будет концом теоретической физики. Однако открытие нейтрона и ядерных сил опрокинуло эти представления.

Говоря так, я все же верю, что существует почва для осторожного оптимизма: возможно, мы близки к концу поисков основных законов природы. В настоящее время мы располагаем целым рядом частных теорий. У нас есть общая теория относительности, частная теория гравитации и частные теории сильного и слабого ядерных взаимодействий, а также электромагнетизма. Последние три могут составить так называемую великую объединенную теорию. Но удовлетвориться этим нельзя, потому что она не включает в себя теорию гравитации. Основная сложность на пути объединения гравитации с другими физическими взаимодействиями состоит в том, что общая теория относительности является классической, то есть в нее не входит принцип неопределенности квантовой механики. Между тем другие частные теории существенным образом зависят от квантовой механики. Поэтому первым необходимым шагом представляется объединение общей теории относительности с принципом неопределенности. Как уже было показано, это имело бы некоторые замечательные следствия, например, такие, что черные дыры

не так уж черны, а Вселенная полностью замкнута и не имеет границы. Но вот проблема: принцип неопределенности предполагает, что даже пустое пространство заполнено па́рами виртуальных частиц и античастиц. Эти пары должны обладать бесконечной энергией. А значит, их гравитационное притяжение должно бы свернуть Вселенную до бесконечно малого размера.

Довольно похожие, по-видимому абсурдные, бесконечности встречаются в других квантовых теориях. Однако в этих других теориях их удается исключать при помощи операции, называемой перенормировкой. Она включает подгонку масс частиц и сил их взаимодействий за счет введения новых бесконечностей. Хотя подобная операция довольно сомнительна с точки зрения математики, она работает. С ее помощью удалось получить предсказания, которые с невероятной точностью согласуются с наблюдениями. Перенормировка, однако, имеет существенный недостаток с точки зрения создания объединенной теории. При вычитании бесконечности из бесконечности можно получить любой желаемый результат. Следовательно, теория не позволяет предсказывать действительные значения масс частиц и сил взаимодействий. Вместо этого их приходится подбирать, подгоняя под наблюдения. В общей теории относительности можно подгонять только две величины — силу притяжения и космологическую постоянную. Но этого недостаточно для исключения всех бесконечностей. Таким образом, мы имеем теорию, которая, похоже, предсказывает, что некоторые величины, например кривизна пространства-времени, действительно бесконечны, и в то же время наблюдения и измерения показывают, что они имеют конечные значения. В попытке преодолеть это препятствие в 1976 г. была предложена теория супергравитации. По сути, это была общая теория относительности, предполагающая существование некоторых дополнительных частиц.

В общей теории относительности носителем гравитационных сил является гравитон, гипотетическая частица со спином 2. К ней добавили частицы со спинами 3/2, 1, 1/2 и 0. В некотором смысле их можно рассматривать в качестве различных аспектов одной и той же «суперчастицы». Виртуальные пары частица/античастица со спинами 1/2 и 3/2 должны обладать отрицательной энергией, которая погасит положительную энергию виртуальных пар частиц со спинами 0, 1 и 2. Таким способом можно сократить многие из возможных бесконечностей, но, по-видимому, не все. Однако вычисления, способные прояснить, останутся ли несокращенными некоторые бесконечности, настолько сложны и трудоемки, что пока никто не готов их проделать. Полагают, что даже при использовании компьютера на это ушло бы не менее четырех лет. И очень высока вероятность того, что в расчетах будет допущена по меньшей мере одна ошибка, а может, и больше. Поэтому точность выведенного результата потребовалось бы подтвердить проделанными еще кем-то повторными расчетами, давшими тот же итог, что представляется маловероятным.

Из-за этой проблемы мнение склонилось в пользу теорий струн. Основным объектом в этих теориях выступают не частицы, занимающие единичную точку в пространстве, а протяженные образования, которые обладают только длиной, но никакими другими измерениями и напоминают петли из бесконечно тонких струн. В каждый момент времени частица занимает определенную точку пространства. Так что ее история может быть представлена линией в пространстве-времени, которую называют «мировой линией». Между тем струна в каждый момент времени занимает в пространстве линию. Так что ее история в пространстве-времени представляет собой двухмерную поверхность, которую называют «мировым листом». Любая точка на мировом листе может быть описана двумя числами, одно из которых характеризует время,

а второе — положение точки на струне. Мировой лист струны имеет вид цилиндра или трубки. Круговое сечение трубки отображает положение струны в определенный момент времени.

Две струны могут соединяться в одну, подобно тому как соединяются две штанины брюк. Сходным образом одну струну можно разделить на две. В теориях струн то, что раньше считалось частицами, представляется волнами, распространяющимися вдоль струны, как вдоль веревки. Испускание частиц и их взаимное поглощение соответствуют разделению и соединению струн. Например, гравитационное воздействие Солнца на Землю описывается Н-образной конфигурацией из трубок или волноводов. (Теории струн чем-то напоминают водопроводное дело.) Волны, бегущие по двум вертикальным сторонам этого «Н», соответствуют частицам, испускаемым и поглощаемым Солнцем и Землей, а те, что бегут по горизонтальной перемычке, — гравитационным взаимодействиям между этими частицами.

Теория струн имеет довольно странную историю. Она была предложена в конце 1960-х гг. в попытке отыскать концепцию сильного ядерного взаимодействия. Идея состояла в том, что элементарные частицы — протон и нейтрон — можно рассматривать как волны, распространяющиеся вдоль струны. Тогда сильное ядерное взаимодействие между частицами соответствовало бы отрезкам струны, соединяющим между собой другие отрезки, как в паутине. Для того чтобы эта теория давала наблюдаемые значения сильного ядерного взаимодействия между частицами, струны должны были напоминать резиновые ленты, натянутые с усилием порядка десяти тонн.

В 1974 г. Жоэль Шерк и Джон Шварц опубликовали статью, где показали, что теория струн может описывать гравитационные силы, но лишь при условии, что натяжение струн будет значительно сильнее — около 10^{39} тонн. Теория струн давала бы те же предсказания, что и общая теория относи-

тельности, при обычных масштабах длины, но на очень малых расстояниях — менее 10^{-33} см — появлялись бы расхождения. Работа Шерка и Шварца, однако, не привлекла особенного внимания, поскольку к этому времени большинство ученых отказалось от использования исходной теории струн для сильных взаимодействий. Шерк погиб при трагических обстоятельствах. Он страдал от диабета и впал в кому, когда рядом не оказалось никого, кто мог бы ввести ему инсулин. Так что Шварц остался чуть ли не единственным защитником теории струн, но теперь уже предполагающей более высокое натяжение.

Интерес к теории струн неожиданно возродился в 1984 г., и на то было две причины. Во-первых, попытки показать, что супергравитация конечна и что она объясняет существование наблюдаемых нами частиц, не имели особого успеха. Во-вторых, Джон Шварц и Майкл Грин написали статью, из которой следовало, что теория струн способна объяснить существование частиц, обладающих «врожденной леворукостью», как некоторые из наблюдаемых частиц. Так или иначе, многие вновь занялись теорией струн. Появилась новая ее версия — теория гетеротических струн. Создавалось впечатление, что она способна объяснить существование тех типов частиц, которые мы наблюдаем.

Теории струн также приводят к бесконечностям, но считается, что бесконечности эти можно сократить в версиях, подобных теории гетеротических струн. Возникает, однако, более серьезная проблема. Теории струн совместимы только с пространством-временем, которое имеет 10 или 26 измерений вместо обычных 4. Конечно, дополнительные измерения стали общим местом в научной фантастике, без них уже никуда. Иначе никак не обойдешь то обстоятельство, что теория относительности налагает запрет на перемещения со сверхсветовой скоростью, а значит, нужно слишком много

времени для того, чтобы пересечь нашу Галактику, не говоря уже о путешествиях в другие галактики. Писатели-фантасты изыскали короткий путь через иные измерения. Это можно изобразить так. Представьте себе, что пространство, в котором мы живем, имеет только два измерения и изогнуто на манер бублика или тора. Если вы находитесь на одной стороне кольца и хотите перебраться на другую, вам придется пройти вдоль по кольцу. Однако если вы способны перемещаться в третьем измерении, то сможете срезать путь, двинувшись поперек кольца.

Почему мы не замечаем всех этих дополнительных измерений, если они действительно существуют? Почему воспринимаем лишь три пространственных измерения и одно временно́е? Напрашивается предположение, что эти другие измерения свернуты в пространство ничтожно малых размеров — вроде одной миллионной миллионной миллионной миллионной миллионной доли сантиметра. Оно так мало, что мы его не замечаем. Мы воспринимаем только три измерения пространства и одно измерение времени, в которых пространство-время совершенно плоское. Это как поверхность апельсина: разглядывая ее вблизи, мы различаем множество бугорков и неровностей, но при некотором удалении они словно бы сглаживаются. Так и пространство-время в очень малых масштабах имеет 10 измерений и значительную кривизну. Но при увеличении масштаба вы не видите искривления или дополнительных измерений.

Если описанная картина верна, это плохая новость для тех, кто мечтает о космических путешествиях. Дополнительные измерения слишком малы, чтобы вместить космический корабль. Однако возникает другая важная проблема. Почему лишь некоторые, но не все измерения, свернуты в крошечные шарики? Возможно, на ранней стадии развития Вселенной сильно искривленными были все измерения. Почему же три

измерения пространства и одно измерение времени стали плоскими, а все остальные остались свернутыми?

Один из возможных ответов сводится к антропному принципу. Двух пространственных измерений, видимо, недостаточно для появления столь сложно организованных существ, как мы. Например, двухмерным людям, обитающим на поверхности одномерной Земли, пришлось бы взбираться друг на друга, чтобы разминуться при встрече. Если бы двухмерное существо съело что-нибудь и не смогло полностью переварить пищу, ему пришлось бы извергнуть непереваренные остатки тем же путем, каким они были проглочены, поскольку, пройдя сквозь тело, эти остатки разделили бы его пополам. Трудно также представить циркуляцию крови в двухмерном существе. Проблемы возникли бы и при наличии более трех пространственных измерений. Гравитационное притяжение между двумя телами с ростом расстояния уменьшалось бы быстрее, чем в трех измерениях. А потому орбиты обращающихся вокруг Солнца планет, таких как Земля, были бы нестабильны. Малейшее отклонение от круговой орбиты, какое может быть вызвано гравитационным притяжением других планет, заставило бы Землю, двигаясь по спирали, удаляться от Солнца или приближаться к нему. Мы или замерзли бы, или сгорели. По сути, подобное изменение гравитации с расстоянием угрожало бы устойчивости Солнца. Оно или распалось бы, или испытало коллапс, превратившись в черную дыру. В любом случае Солнце уже не могло бы служить источником тепла и света для земной жизни. В малых масштабах электрические силы, заставляющие электроны обращаться вокруг атомного ядра, повели бы себя подобно силам гравитации. Так что электроны, перемещаясь по спирали, либо покидали бы атом, либо врезались бы в ядро. Так или иначе, существование атомов в известном нам виде было бы невозможно.

Представляется очевидным, что жизнь, по крайней мере в известном нам виде, может существовать лишь в тех областях пространства-времени, где три пространственных и одно временно́е измерение не свернуты до ничтожных размеров. Это вновь вернет нас к антропному принципу, если удастся доказать, что теория струн допускает существование таких областей во Вселенной. И, похоже, все теории струн это допускают. Возможно, также существуют другие области Вселенной или другие вселенные (что бы это ни означало), в которых свернуты все измерения или больше четырех измерений развернуто. Но в таких областях не будет разумных существ, способных наблюдать иное число действительных измерений.

Помимо вопроса о числе измерений пространства-времени в теории струн существует и несколько других проблем, не решив которых ее нельзя признать окончательной объединенной теорией физики. Мы все еще не знаем, сокращаются ли все бесконечности и как в точности соотнести волны, расходящиеся по струнам, с конкретными типами наблюдаемых частиц. Тем не менее похоже на то, что эти вопросы будут разрешены в ближайшие годы и к концу века* мы узнаем, действительно ли теория струн представляет собой объединенную теорию физики, способную выдержать испытание временем.

Можно ли вообще создать объединенную теорию всего? Не гоняемся ли мы за миражом? Похоже, существуют три возможности.

1. Создание полной объединенной теории возможно, и когда-нибудь мы ее создадим, если хватит ума.
2. Нельзя создать окончательную теорию Вселенной — только бесконечную последовательность теорий, описывающих Вселенную все более и более точно.

* Лекции впервые были опубликованы в 1996 г. — *Примеч. ред.*

3. Нельзя создать какую-либо теорию Вселенной. События могут быть предсказаны лишь до известного предела, они происходят случайным, произвольным образом.

Некоторые выскажутся в пользу третьей возможности, основываясь на том, что существование полного набора физических законов ограничило бы свободу Бога изменять Его замысел и вмешиваться в ход мироздания. Это отчасти напоминает старый парадокс: под силу ли Богу создать такой тяжелый камень, что у Него не хватит сил этот камень поднять? Но идея о том, что Бог способен переменить свой замысел, есть пример заблуждения, на которое указывал Блаженный Августин: Бог мыслится как нечто существующее во времени. Время — это лишь свойство созданной Богом Вселенной. Наверное, Он отдавал Себе отчет в Своих намерениях при сотворении мира.

С появлением квантовой механики мы пришли к осознанию того, что события нельзя предсказать с абсолютной точностью, поскольку всегда будет оставаться элемент неопределенности. При желании эту неопределенность можно приписать вмешательству Бога. Но это было бы очень странное вмешательство. Нет никаких свидетельств того, что оно преследует некую цель. Иначе оно не было бы случайным. Сегодня мы отклонили третью возможность, заново определив цель науки. Наша цель — сформулировать набор законов природы, позволяющих предсказывать события в пределах, допускаемых принципом неопределенности.

Вторая возможность, предполагающая выработку бесконечной последовательности все более и более точных теорий, пока согласуется с нашим опытом. Во многих случаях, повысив точность измерений и разработав новые методы исследования, мы обнаруживали новые явления, не предусмотренные существующими теориями. Для объяснения таких

явлений нам приходилось создавать более совершенные теории. Поэтому не следует удивляться, если наши современные великие объединенные теории будут опрокинуты испытаниями на более крупных и более мощных ускорителях частиц. Конечно, если бы мы не ожидали ниспровержения теорий, не стоило бы тратить массу денег на создание новых, более мощных устройств.

Похоже, впрочем, что гравитация способна положить предел череде упрятанных друг в друга «коробочек». Если бы существовала частица с энергией, превышающей так называемую энергию Планка (10^{19} ГэВ), концентрация ее массы была бы столь высока, что частица отсекла бы себя от остальной Вселенной и образовала небольшую черную дыру. Таким образом, создание все более и более совершенных теорий, кажется, получает предел при переходе к очень высоким энергиям. Должна существовать некая окончательная теория Вселенной. Разумеется, энергия Планка очень далека от энергий порядка одного гигаэлектронвольта, предельных для наших нынешних лабораторий. Чтобы перекинуть мост через эту пропасть, потребовался бы ускоритель, размерами превосходящий Солнечную систему. Вряд ли его создание финансировали бы при нынешнем экономическом положении.

Однако на самых ранних стадиях развития Вселенной такие энергии могли существовать. Думаю, есть неплохие шансы на то, что изучение ранней Вселенной и необходимость в математической согласованности приведут нас в конце столетия к созданию полной объединенной теории — если мы, конечно, доживем до тех пор*.

А что означало бы создание окончательной теории Вселенной? Оно завершило бы долгую и славную главу в исто-

* Как видим, надежды автора относительно создания теории были слишком оптимистичными. — *Примеч. науч. ред.*

рии нашей борьбы за постижение мира. При этом совершился бы и переворот в обыденных представлениях о законах, управляющих Вселенной. Во времена Ньютона образованный человек был в состоянии овладеть всеми знаниями человечества, по крайней мере в основных чертах. Но с тех пор темпы развития науки сделали такое невозможным. Теории всегда изменялись, чтобы соответствовать новым наблюдениям. Их невозможно было подстроить или упростить таким образом, чтобы они были понятны обычному человеку. Для понимания их надо быть специалистом, да и тогда можно надеяться на овладение лишь малой частью научных теорий.

Более того, скорость прогресса столь велика, что знания, полученные в школе и университете, всегда оказываются слегка устаревшими. Лишь немногие люди могут оставаться на переднем крае науки, который быстро раздвигается. Причем они должны посвятить этому все свое время и специализироваться в узкой области. Все прочие едва ли имеют представление о достижениях современной науки или о том волнении, которое возбуждается этими достижениями.

Семьдесят лет назад, если верить Эддингтону, всего два человека в мире понимали общую теорию относительности. Сегодня ее понимают десятки тысяч выпускников университетов, и многие миллионы людей хотя бы знакомы с этой идеей. Если окончательная объединенная теория будет создана, приведение ее к виду, доступному для понимания многих, сокращенному и упрощенному, станет лишь вопросом времени. После этого ее можно будет преподавать в школах (по крайней мере, в общем виде). И все мы получим представление о том, какие законы правят Вселенной и ответственны за наше существование.

Эйнштейн как-то задал вопрос: «Широк ли был выбор у Бога при создании Вселенной?» Если справедливо предположение об отсутствии границы, то у Бога не было никакой свободы выбора начальных условий. Разумеется, Он все же был волен выбирать законы, которым подчиняется Вселенная. Только этим, однако, выбор мог и не ограничиваться. Возможно, существует лишь одна или небольшое число полных объединенных теорий, которые внутренне непротиворечивы и допускают существование разумной жизни.

Мы можем задаваться вопросом о природе Бога, даже если существует всего одна объединенная теория, представляющая собой просто набор правил и уравнений. Что вдохнуло пламя жизни в уравнения и создало Вселенную, которую они описывают? Обычный научный подход — построение математической модели — не дает ответа на вопрос о том, почему должна существовать моделируемая Вселенная. Почему Вселенная должна нести бремя существования? Неужели объединенная теория так необорима, что вызывает к жизни самое себя? Или все-таки нужен Творец, а если так — имеет ли Он влияние на Вселенную или всего лишь несет ответственность за ее сотворение? И кто создал Создателя?

До настоящего времени большинство ученых были слишком заняты развитием новых теорий, описывающих, какова Вселенная, чтобы задаться вопросом, почему она такова. С другой стороны, люди, обязанные по роду занятий задавать вопрос «почему» (то есть философы), не поспевали за прогрессом научных теорий. В XVIII в. философы считали областью своей деятельности все человеческое знание (включая научное). Они обсуждали такие проблемы, как имела ли Вселенная начало. Однако в XIX–XX вв. наука стала изъясняться на языке техники и математики, непонятном для философов, за небольшим исключением. И они настолько сократили область своих исследований, что самый знаменитый философ XX в., Людвиг Витгенштейн, заявил: «Единственная

задача, оставшаяся для философии, — это анализ языка». Какой упадок великой философской традиции, продолжавшейся от Аристотеля до Канта!

Однако если мы создадим полную теорию, она со временем, в самых своих основах, станет понятной всем, а не только немногим специалистам. Тогда мы все сможем принять участие в дискуссии о том, почему существует Вселенная. Если мы найдем ответ, это будет абсолютным триумфом человеческого разума. И, возможно, мы поймем замысел Бога.

ДИСКИ НЕОБИТАЕМОГО ОСТРОВА

Интервью

Из книги Стивена Хокинга
«ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ И МОЛОДЫЕ ВСЕЛЕННЫЕ»

Би-би-си начала транслировать передачу «Диски необитаемого острова» в 1942 г., и эта программа установила на радио рекорд долговечности. К настоящему времени она стала чем-то вроде национального достояния. За все эти годы программа приняла огромное количество гостей. В ней брали интервью у писателей, артистов, музыкантов, киноактеров и кинорежиссеров, деятелей спорта, комиков, поваров, садовников, учителей, танцоров, политиков, членов королевской семьи, мультипликаторов — и ученых. Гостей просили выбрать восемь аудиозаписей, которые они взяли бы с собой, если бы им пришлось остаться в одиночестве на необитаемом острове. Их также просили назвать предмет роскоши и книгу (предполагалось, что Библия, Тора и Коран на острове уже есть, так же как и сочинения Шекспира). Считалось само собой разумеющимся, что на острове найдутся и средства воспроизведения, когда-то — граммофон и множество игл к нему, сегодня — заряжающийся от солнечного света CD-плеер.

Программа выходила в эфир каждую неделю, и в ходе интервью, продолжавшихся, как правило, сорок минут, проигрывали записи по выбору гостей. Однако представленное здесь интервью со Стивеном Хокингом, транслировавшееся на Рождество в 1992 г., в виде исключения продолжалось дольше. Интервью брала Сью Лоули.

Сью: Стивен, будучи отрезанным от нормальной физической жизни и лишенным всех естественных средств общения, вы в некотором роде уже знакомы с тем, что ожидает

человека на необитаемом острове. Насколько вам одиноко от этого?

Стивен: Я не считаю себя отрезанным от нормальной жизни и не думаю, что окружающие меня люди сказали бы, что я одинок. Я не чувствую себя инвалидом, я просто человек, у которого поражены двигательные нейроны, кто-то вроде дальтоника. Полагаю, мою жизнь не назовешь нормальной, но в духовном смысле она нормальна.

Сью: Тем не менее, в отличие от многих выброшенных на необитаемый остров, вы уже доказали себе, что духовно и интеллектуально самодостаточны, что у вас хватает пищи для размышлений и вдохновения, чтобы занять себя.

Стивен: Полагаю, я от природы немного интроверт, и трудности в общении заставили меня полагаться только на самого себя. Но в детстве я был разговорчивым. Мне нужны дискуссии с другими людьми. Я обнаружил, что изложение идей другим мне очень помогает. Даже если собеседники не высказывают ничего интересного, сама необходимость организовывать свои мысли так, чтобы они были понятны другим, часто подсказывала мне новый путь вперед.

Сью: А как же насчет эмоционального удовлетворения, Стивен? Даже блестящему физику для этого нужны другие люди.

Стивен: Физика — это прекрасно, но она холодна. Я бы не вынес жизни, в которой была бы одна только физика. Как и всем людям, мне нужны тепло, любовь и привязанность. И опять мне очень повезло, гораздо больше, чем многим другим, страдающим таким же недугом, — я получал массу любви и тепла. И музыка тоже много для меня значит.

Сью: Скажите, что доставляет вам больше удовольствия — физика или музыка?

Стивен: Должен сказать, что удовольствие, испытанное мною, когда что-то получалось в физике, сильнее того, которое мне когда-либо доставляла музыка. Но получалось у меня лишь несколько раз за всю мою карьеру, в то время как диск можно поставить когда угодно.

Сью: И какой же диск вы поставили бы первым на необитаемом острове?

Стивен: «Gloria» Пуленка. Я впервые услышал ее прошлым летом в Аспене, в Колорадо. Аспен прежде всего лыжный курорт, но летом там собираются физики. Рядом с физическим центром стоит огромный шатер, где проходит музыкальный фестиваль. Пока вы сидите, исследуя, что́ получается при испарении черной дыры, слышно, как идут репетиции. Это идеально: тут сочетаются два главных удовольствия — физика и музыка. Если бы на необитаемом острове у меня были они оба, пусть бы меня оттуда и не вызволяли. То есть до тех пор, пока я не сделал бы в теоретической физике открытие, о котором захотелось бы рассказать всем. Думаю, спутниковая тарелка, благодаря которой я мог бы получать статьи по физике, уже не предусмотрена правилами игры.

Сью: Выступая по радио, можно скрыть физические дефекты, но в данном случае остается скрытым еще кое-что. Семь лет назад, Стивен, вы в полном смысле слова потеряли голос. Не могли бы вы рассказать, что же тогда случилось?

Стивен: В 1985 г. я был в Женеве, в CERN, на большом ускорителе частиц. Я собирался поехать оттуда в Байрейт, в Германию, послушать вагнеровское «Кольцо нибелунга». Но заболел воспалением легких и лег в больницу. Женевские врачи посоветовали моей жене отключить аппарат, поддерживавший мою жизнь. Но жена не хотела и слышать об этом. Меня перевезли на самолете в больницу Адденбрук, в Кем-

бридже, где хирург по имени Роджер Грей провел трахеотомию. Операция спасла мне жизнь, но голоса я лишился.

Сью: Но к тому времени ваша речь и так была очень неразборчивой, не правда ли? Наверное, дар речи все равно покинул бы вас, да?

Стивен: Хотя моя речь и была неразборчивой, близкие меня понимали. Я мог проводить семинары с переводчиком и диктовать научные статьи. Но после операции я некоторое время был просто опустошен. Я чувствовал, что если вновь не обрету голос, то дальше жить не стоит.

Сью: Потом один компьютерщик из Калифорнии прочитал о вашем состоянии и подарил вам голос. Как он работает?

Стивен: Компьютерщика звали Уолт Уолтосц. Его теща оказалась в том же состоянии, что и я, и он разработал компьютерную программу, чтобы помочь ей общаться. Курсор двигается по экрану, и когда он оказывается на нужной строке меню, вы движением головы или глаз — а в моем случае руки — нажимаете на ключ. Таким образом можно выбирать слова в нижней части экрана. Когда набрал то, что хочешь сказать, текст можно послать на речевой синтезатор или сохранить на диске.

Сью: Но это долгое дело.

Стивен: Да, долгое — примерно в десять раз медленнее нормальной речи. Но речевой синтезатор говорит гораздо отчетливее, чем я раньше. Британцы называют его акцент американским, а американцы — скандинавским или ирландским. Но каков бы он ни был, меня все понимают. Мои старшие дети привыкли к моему естественному голосу, но младший сын, которому было всего шесть лет, когда мне сделали трахеотомию, до того никак не мог меня понять. Теперь трудностей нет. Для меня это очень важно.

Сью: Значит, что вы можете попросить заранее записать все вопросы интервьюера и остается только ответить, когда будете готовы, так?

Стивен: Для записи длинных программ вроде этой хорошо иметь вопросы заранее, чтобы не тратить время и магнитную ленту впустую. В некотором смысле это дает мне больше возможности для контроля. Но на самом деле я предпочитаю отвечать на вопросы без подготовки. Так я делаю после семинаров и популярных лекций.

Сью: Но, по вашим словам, такой процесс дает вам возможность контроля, а я знаю, как это важно для вас. Ваша семья и друзья иногда называют вас упрямым и своевольным. Вы признаете себя виновным в этих грехах?

Стивен: Любого здравомыслящего человека иногда называют упрямым. Я бы скорее назвал себя решительным. Не будь я довольно решительным, меня бы сейчас здесь не было.

Сью: Вы всегда были таким?

Стивен: Я просто хочу контролировать свою жизнь в той же степени, что и все остальные. Слишком часто жизнью инвалида управляют другие. Ни один здоровый человек не примирился бы с этим.

Сью: Давайте послушаем ваш второй диск.

Стивен: Концерт для виолончели Брамса. Это был первый долгоиграющий диск, который я купил. Произошло это в 1957 г., когда записи на 33 оборота в минуту в Британии только что появились. Мой отец считал покупку проигрывателя безрассудным транжирством, но я убедил его, что сам смогу собрать проигрыватель из купленных по дешевке частей. Этот довод показался ему, благоразумному йоркширцу, убедительным. Я вставил вертушку и усилитель в корпус от старого

граммофона на 78 оборотов. Если бы он сохранился, то сейчас представлял бы собой ценность.

Когда я соорудил этот проигрыватель, понадобилось что-то, чтобы крутить на нем. Один школьный товарищ предложил Концерт для виолончели Брамса, потому что ни у кого из моих друзей подходящей записи не было. Помню, пластинка стоила тридцать пять шиллингов — по тем временам большие деньги, особенно для меня. С тех пор цены на записи выросли, но в действительности они сейчас гораздо дешевле.

Когда я впервые услышал эту запись в магазине, мне ее звучание показалось странным и не очень понравилось, но я чувствовал, что должен ее похвалить. Однако с годами она стала для меня очень много значить. Мне бы хотелось проиграть ее медленную первую часть.

Сью: Один старый друг вашей семьи сказал, что во времена вашего детства она была (цитирую) «очень интеллектуальной, очень умной и очень эксцентричной». Оглядываясь в прошлое, считаете ли вы эту характеристику верной?

Стивен: Я не могу сказать, насколько моя семья была интеллектуальной, но мы определенно не считали себя эксцентричными. Однако по меркам Сент-Олбанса мы, наверное, такими могли показаться. Когда мы жили там, это было весьма благочинное место.

Сью: Ваш отец был специалистом по тропическим болезням?

Стивен: Мой отец проводил исследования в области тропической медицины. Он довольно часто ездил в Африку испытывать новые препараты.

Сью: Значит, большее влияние на вас оказала ваша мать, а если так, то как вы охарактеризуете это влияние?

Стивен: Нет, я бы сказал, что большее влияние оказал на меня отец. Я брал пример с него. Поскольку он был исследователем, я считал, что научные исследования — это основное занятие взрослых. Единственное различие было в том, что меня не привлекали медицина и биология, потому что они не казались мне точными науками. Хотелось чего-то более фундаментального, и я выбрал для себя физику.

Сью: Ваша мать считает, что у вас всегда было, как она выразилась, «сильное чувство чуда». «Я видела, что его тянет к звездам», — сказала она. Вы помните это?

Стивен: Помню, как-то поздно ночью я приехал домой из Лондона. Тогда в целях экономии свет на улицах в полночь выключали. И я увидел ночное небо, каким не видел его никогда раньше, — с Млечным Путем поперек. На моем необитаемом острове не будет уличных фонарей, так что я смогу хорошо видеть звезды.

Сью: Очевидно, вы были одаренным ребенком, вы часто соперничали в домашних играх с вашей сестрой, но в школе вы могли очень отставать, и вас это вовсе не заботило, верно?

Стивен: Так было в мой первый год в сент-олбансской школе. Но должен сказать, я учился в очень одаренном классе и на экзаменах проявлял себя лучше, чем в повседневной работе. Я не сомневался, что могу учиться очень хорошо, а отставал только из-за почерка и вообще из-за неаккуратности.

Сью: Запись номер три?

Стивен: На последнем курсе в Оксфорде я прочел роман Олдоса Хаксли «Контрапункт». В романе описываются тридцатые годы и действует множество персонажей. Большинство из них вымышленные, но один, более человечный, несомненно списан с самого Хаксли. Этот персонаж убивает лидера

британских фашистов — образ, нарисованный с сэра Освальда Мосли. Потом он сообщает партии о своем поступке и ставит пластинку со Струнным квартетом Бетховена, соч. 132. А в середине третьей части подходит на стук к двери — и его убивают фашисты.

Вообще-то это никудышный роман, но Хаксли очень правильно выбрал музыку. Если бы я знал, что на мой остров надвигается цунами, я бы поставил третью часть этого квартета.

Сью: Вы поехали в Оксфорд, в Юниверсити-Колледж, изучать математику и физику. Там вы трудились над своими расчетами в среднем час в день. Но, как я читала, вы с удовольствием занимались греблей, пили пиво и устраивали всякие забавные розыгрыши. В чем же было дело? Почему вы не утруждали себя работой?

Стивен: Был конец пятидесятых, и большинство молодежи утратило иллюзии насчет так называемого истеблишмента. Казалось, от будущего нечего ждать, кроме изобилия и сверхизобилия. Консерваторы только что выиграли третьи выборы подряд под лозунгом «Еще никогда не было так хорошо». Мне и большинству моих современников жизнь казалась скучной.

Сью: Тем не менее вы умудрялись за несколько часов решать задачи, над которыми ваши товарищи безуспешно бились неделями. Судя по их высказываниям, они понимали, что у вас исключительный талант. А вы знали о своем таланте, как вам кажется?

Стивен: Курс физики в Оксфорде в то время был до смешного легким. Его можно было пройти, не слушая лекций, а просто посещая один-два семинара в неделю. Не требовалось запоминать много фактов, а так — несколько формул.

Сью: Но в Оксфорде — не так ли? — вы впервые заметили, что ваши руки и ноги не всегда вас слушаются. Как вы объясняли это себе в то время?

Стивен: Сказать по правде, первое, что я заметил, — не могу грести как нужно. Потом я упал с лестницы в студенческом общежитии. После этого я пошел к врачу, испугавшись сотрясения мозга, но врач не нашел ничего страшного и велел лишь меньше пить пива. После выпускных экзаменов в Оксфорде я на лето поехал в Иран. По возвращении я чувствовал себя очень ослабевшим, но думал, что это от сильного желудочно-кишечного заболевания, которое там перенес.

Сью: И когда же вы все-таки сдались, признав, что серьезно больны, и решили обратиться к врачу?

Стивен: Я был тогда в Кембридже и на Рождество поехал домой. Зима 1962/63 года была очень холодной. Мама уговорила меня сходить в Сент-Олбансе на озеро покататься на коньках, хотя я и знал, что не вполне готов к этому. Я упал и поднялся с большим трудом. Мама поняла, что со мной что-то не так, и отвела меня к нашему семейному врачу.

Сью: Потом три недели в больнице. И вам сообщили самое худшее?

Стивен: Это была больница Бартс в Лондоне, потому что там работал мой отец. Я пролежал две недели на обследовании, но мне не сказали, в чем дело, а только сообщили, что это не рассеянный склероз и что мой случай нетипичен. Мне не сказали, что меня ждет, но я догадывался, что дела плохи, и расспрашивать не хотелось.

Сью: В конце концов вам все-таки сказали, что жить осталось пару лет. Давайте, Стивен, на этом месте сделаем паузу и послушаем вашу четвертую запись.

Стивен: «Валькирия», действие первое. Это была другая долгоиграющая пластинка, где поют Мельхиор и Леман. Первоначально, еще до войны, она была записана на 78 оборотов, а потом, в шестидесятых, ее перенесли на долгоиграющую. После того как в 1963-м мне поставили диагноз «нейромоторное заболевание», я обратился к Вагнеру — он соответствовал моему мрачному, апокалиптическому состоянию духа. К несчастью, мой речевой синтезатор не очень хорошо образован и произносит «Вагнер», смягчая первый согласный. Мне пришлось набрать «Vargner», чтобы звучало примерно так, как надо.

Четыре оперы цикла «Кольцо нибелунга» — это величайшее творение Вагнера. В 1964 г. я ходил на них в Байрейте, в Германии, с моей сестрой Филиппой. В то время я знал «Кольцо» плохо, и «Валькирия», вторая опера тетралогии, произвела на меня огромное впечатление. Это была постановка Вольфганга Вагнера, и на сцене царила почти кромешная тьма. Это история любви двух близнецов, Зигмунда и Зиглинды, разлученных в детстве. Они встретились снова, когда Зигмунд нашел убежище в доме Хундинга, мужа Зиглинды и врага Зигмунда. Я выбрал отрывок с рассказом Зиглинды о ее вынужденной свадьбе с Хундингом. В разгар торжеств в зал входит какой-то старик. Оркестр играет тему Вальхаллы, одну из самых величавых в «Кольце», потому что это Вотан, предводитель богов, отец Зигмунда и Зиглинды. Он вонзает меч в ствол дерева. Меч предназначается Зигмунду. В конце акта Зигмунд хватает меч, и они с возлюбленной скрываются в лесу.

Сью: Когда читаешь о вас, Стивен, начинает казаться, что смертный приговор, оставлявший вам всего пару лет жизни, пробудил вас, если хотите — заставил, сосредоточиться на жизни.

Стивен: Его первым следствием была депрессия. Казалось, мое состояние быстро ухудшается. Казалось, нет никакого смысла что-то делать, работать над диссертацией, поскольку я не знал, проживу ли достаточно для того, чтобы закончить ее. Но потом дела стали выправляться. Развитие болезни замедлилось, и я начал продвигаться в работе, в частности в своем доказательстве того, что Вселенная должна была начаться с Большого Взрыва.

Сью: Вы даже сказали в одном интервью, что теперь ощущаете себя более счастливым человеком, чем до болезни.

Стивен: Теперь я определенно счастливее. Раньше жизнь казалась мне скучной. Но перспектива умереть рано заставила меня понять, что жизнь стоит того, чтобы за нее держаться. Так много можно сделать, каждый может сделать так много! У меня действительно есть ощущение, что, несмотря на свое состояние, я внес значительный вклад в познания человечества. Конечно, мне очень везло, но любой может чего-то достичь, если приложит достаточно усилий.

Сью: Можете вы сказать, что не достигли бы всего этого, если бы не ваша болезнь, — или это было бы слишком просто?

Стивен: Нет, не думаю, что такое заболевание может стать для кого-то преимуществом. Но для меня оно стало меньшей бедой, чем для других, так как не помешало делать то, что я хотел. А хотел я попытаться понять, как устроена Вселенная.

Сью: Вашим вдохновителем в тот период, когда вы пытались ужиться со своим заболеванием, стала молодая женщина по имени Джейн Уайлд, с которой вы познакомились на вечеринке. Вы полюбили друг друга и поженились. Как бы вы оценили, какой частью вашего успеха обязаны Джейн?

Стивен: Без нее я бы не справился, это несомненно. Помолвка с Джейн вытащила меня из трясины уныния. А раз нам предстояло пожениться, мне нужно было получить работу и закончить диссертацию. Я начал усердно трудиться, и мне это понравилось. Мое состояние ухудшалось, и Джейн сама ухаживала за мной. На том этапе никто не предлагал нам помощи, а мы не могли себе позволить платить за уход.

Сью: И вместе вы бросили вызов врачам — и не только тем фактом, что продолжали жить, но и тем, что у вас были дети. В 1967 г. появился Роберт, в 1970-м — Люси, а в 1979-м — Тимоти. Насколько были потрясены врачи?

Стивен: Фактически, врач, поставивший мне диагноз, умыл руки. Он чувствовал, что ничего не может поделать. После постановки первоначального диагноза я его больше не видел. На самом деле моим врачом стал мой отец, и за советами я обращался к нему. По его словам, не было никаких свидетельств того, что болезнь передается по наследству. Джейн удавалось ухаживать за мной и двумя детьми. Только когда в 1974 г. мы уехали в Калифорнию, нам понадобилась помощь со стороны, сначала это был студент, живший вместе с нами, а потом сиделки.

Сью: Но вы с Джейн расстались.

Стивен: После трахеотомии мне круглосуточно нужна была сиделка. Это вносило все бóльшую напряженность в наш брак. В конце концов я переехал в новую квартиру в Кембридже. Теперь мы живем раздельно.

Сью: Давайте еще послушаем музыку.

Стивен: «Битлз», «Please, Please Me». После моих четырех довольно серьезных музыкальных привязанностей хотелось бы немножко развеяться. Для меня и многих других «Битлз» стали долгожданным глотком свежего воздуха среди затхлой и нездоровой поп-музыки. Воскресными вечерами я часто слушал первую двадцатку по «Радио „Люксембург“».

Сью: Несмотря на все свалившиеся на вас почести, Стивен Хокинг, — а я должна напомнить, что вы Лукасовский профессор математики в Кембридже, когда-то это место занимал Исаак Ньютон, — вы решили написать популярную книгу о вашей работе. Полагаю, причина весьма простая — вы нуждались в деньгах.

Стивен: Хотя я и думал, что мог бы получить скромную сумму за популярную книжку, главная причина написания «Краткой истории времени» заключалась в том, что мне нравилась эта работа. Я был под впечатлением открытий, сделанных за последние двадцать пять лет, и хотел рассказать о них людям. Я и не предполагал, что получится так здорово.

Сью: В самом деле, она побила все рекорды и попала в Книгу рекордов Гиннесса как книга, дольше всех продержавшаяся в списке бестселлеров, и держится в этом списке до сих пор. Похоже, никто не знает, сколько экземпляров уже продано во всем мире, но явно больше десяти миллионов. Люди ее покупают, но вопрос в том, читают ли они ее?

Стивен: Я знаю, что Бернард Левин дошел лишь до двадцать девятой страницы, но мне также известно, что очень многие прочли дальше. Во всем мире люди подходят ко мне, чтобы сказать, как им понравилась моя книга. Возможно, не все осилили ее до конца, многие поняли не все прочитанное, но уловили мысль, что мы живем во Вселенной, управляемой разумными законами, которые можем открыть и понять.

Сью: Именно ваши черные дыры захватили воображение общества и оживили интерес к космологии. Вы когда-нибудь смотрели все эти «Звездные пути», где «смело ступают туда,

куда ни один человек не ступал доныне» и т. д.? А если смотрели, то как вам они понравились?

Стивен: Подростком я читал много научной фантастики. Но теперь научная фантастика в основном кажется мне несколько поверхностной. Так легко написать о гиперпространстве, перемещающем или проводящем людей, если вам не приходится включать его в гармоничную картину мира. Настоящая наука гораздо более увлекательна, потому что она реальна. Фантасты никогда и не предполагали наличия черных дыр, пока об этом не задумались ученые. Но теперь у нас есть надежные свидетельства существования черных дыр.

Сью: И что произойдет, если угодишь в черную дыру?

Стивен: Любой читатель научной фантастики знает, что случается, если угодишь в черную дыру. Вы превратитесь в спагетти. Но что интереснее, черные дыры не совершенно черные. Они постоянно испускают частицы и излучение. Это заставляет их постепенно испаряться, но что в результате происходит с черной дырой и ее содержимым, так и неизвестно. Это увлекательная область исследований, но научные фантасты еще не ухватились за нее.

Сью: И это упомянутое вами излучение, конечно же, назвали излучением Хокинга. Черные дыры открыты не вами, хотя вы продвинули знание о них, доказав, что они не совсем черные. Однако это открытие заставило вас основательно задуматься о происхождении Вселенной, не так ли?

Стивен: Сжатие звезды и образование черной дыры во многих отношениях напоминает расширение Вселенной, пущенное вспять. Звезды сжимаются, переходя из состояния с довольно низкой плотностью в состояние с очень высокой плотностью, а Вселенная расширяется, переходя из состояния с очень высокой плотностью к состоянию с меньшей плотностью. Тут есть важное различие: мы находимся вне черной дыры, но внутри Вселенной. Однако и та и другая характеризуются тепловым излучением.

Сью: Вы говорите, будто так и неизвестно, что же в конце концов происходит с черной дырой и ее содержимым. Но я думала, что бы ни происходило, теоретически в конце концов все исчезнувшее в черной дыре, в том числе и астронавт, вернется в виде излучения Хокинга.

Стивен: Энергия массы астронавта вернется в виде излучения черной дыры. Но сам астронавт или даже частицы, из которых он состоял, не вернутся. Так что вопрос в том, что с ними произойдет. Они уничтожатся или перейдут в другую вселенную? Вот это мне и не терпится узнать. Но сам я прыгать в черную дыру не планирую.

Сью: Стивен, вы в своей работе руководствуетесь интуицией? То есть приходите к теории, которая вам нравится и привлекает вас, а потом пытаетесь доказать ее? Или как ученому вам всегда приходится прокладывать логический путь к заключению, и вы не пытаетесь заранее угадать результат?

Стивен: Я в очень большой степени полагаюсь на интуицию. Я пытаюсь угадать результат, но потом приходится его доказывать. На данном этапе я довольно часто обнаруживаю, что мои догадки не соответствуют истине, или, как в данном случае, обнаруживаю нечто такое, о чем никогда не думал. Так, стараясь доказать нечто другое, я пришел к выводу, что черные дыры не совсем черные.

Сью: Еще о музыке.

Стивен: Одним из моих любимых композиторов всегда был Моцарт. Он написал невероятно много. В этом году на

мой пятидесятый день рождения мне подарили полное собрание его сочинений на CD — более двухсот часов музыки. Я все еще прокладываю путь через них. Один из величайших шедевров — его Реквием. Моцарт умер, не завершив его, и Реквием дописали его ученики по оставленным Моцартом фрагментам. Первая часть, которую мы собираемся прослушать, — единственная, полностью написанная и прооркестрованная самим Моцартом.

Сью: Очень упрощая вашу теорию (надеюсь, вы простите меня за это, Стивен), можно сказать, что раньше вы верили, насколько я понимаю, в существование момента сотворения мира, в так называемый Большой Взрыв, но больше не верите. Вы считаете, что не было начала и не будет конца, что Вселенная самодостаточна. Означает ли это, что не было никакого акта творения и, следовательно, для Бога не остается места?

Стивен: Да, вы слишком упростили. Я по-прежнему верю, что Вселенная имеет начало в реальном времени — Большой Взрыв. Но есть другой вид времени — мнимое время, направленное перпендикулярно к реальному, и во мнимом времени Вселенная не имеет ни начала, ни конца. Это означает, что она могла возникнуть по законам физики. Кто-то может сказать, что Бог велел Вселенной двигаться неким произвольным образом, недоступным нашему пониманию. Но это свидетельствует не о том, что Бог есть или Его нет, а лишь о том, что у Него не было выбора.

Сью: Но если Бога нет, как же вы объясните явления, лежащие за пределами науки, — любовь и веру, то, что люди носили и носят в душе, — да и ваше собственное вдохновение тоже?

Стивен: Любовь, вера и мораль — все это из другой области. Вы не можете вывести человеческие поступки из физических законов. Но можно надеяться, что логические заключения, которые делают физика и математика, приведут человека к нравственному поведению.

Сью: По-моему, многие считают, что вы фактически обходитесь без Бога. Так вы отрицаете это?

Стивен: Мои труды показали только, что не нужно говорить, будто путь возникновения Вселенной был предопределен личным капризом Бога. Но вопрос остается: почему она потрудилась возникнуть? Если хотите, ответом на этот вопрос может быть вмешательство Бога.

Сью: Давайте поставим запись номер семь.

Стивен: Я очень люблю оперу. Сначала я подумал, не выбрать ли исключительно диски с операми, от Глюка, Моцарта и Вагнера до Верди и Пуччини. Но под конец остановился всего на двух. В первую очередь это должен быть Вагнер, а вторым я в конце концов выбрал Пуччини. «Турандот» намного превосходит все остальные его оперы, и опять же, он умер, не закончив ее. Выбранный мною отрывок — рассказ Турандот о том, как в Древнем Китае принцессу похитили и увезли монголы. В отместку за это Турандот собирается задать поклонникам, просящим ее руки, три вопроса, а если те не смогут ответить, их ждет казнь.

Сью: Что для вас значит Рождество?

Стивен: Оно немного напоминает американский День благодарения, когда принято быть с семьей и благодарить за прошедший год. Это также повод заглянуть в грядущий год, символом которого и является рождение младенца в яслях.

Сью: А с материалистической точки зрения, каких бы подарков вы попросили? Или теперь вы такой состоятельный человек, что у вас всё есть?

Стивен: Я предпочитаю сюрпризы. Если просишь чего-то определенного, то лишаешь дарителя свободы и возможности воспользоваться своим воображением. Но я ничего не имею против, если станет известно, что я обожаю шоколадные трюфели.

Сью: Пока что, Стивен, вы прожили на тридцать лет дольше, чем вам предсказывали. У вас есть дети, хотя и говорили, что их у вас никогда не будет; вы написали бестселлер, вы перевернули представления о пространстве и времени. Что еще вы планируете сделать до того, как покинете эту планету?

Стивен: Все это оказалось возможным лишь благодаря везению: мне посчастливилось получить огромную помощь. Я рад тому, что мне уже удалось, но хотел бы сделать гораздо больше, прежде чем уйду. Не буду говорить о своей личной жизни, а в науке я хотел бы узнать, как объединить гравитацию с квантовой механикой и другими природными силами. В частности, я хочу узнать, что происходит с черной дырой, когда она испаряется.

Сью: И теперь последняя запись.

Стивен: Вам придется произнести ее название за меня. Мой речевой синтезатор — американец и во французском ни бум-бум. Эта запись — песня Эдит Пиаф «Je ne regrette rien»*. Как раз, чтобы подвести итог моей жизни.

Сью: А теперь, Стивен, если бы вы могли взять из этих восьми записей лишь одну, какая бы это оказалась?

Стивен: Должно быть, Реквием Моцарта. Я мог бы слушать его, пока не сядут батарейки в моем плеере.

* «Я ни о чем не жалею» (*франц.*).

Сью: А книга? Разумеется, собрание сочинений Шекспира и Библия ждут вас.

Стивен: Думаю, я взял бы «Миддлмарч» Джордж Элиот. Кажется, кто-то — возможно, Вирджиния Вулф — сказал, что это книга для взрослых. Не уверен, что я достаточно взрослый, но взял бы ее для пробы.

Сью: А предмет роскоши?

Стивен: Я попрошу большой запас крем-брюле. Для меня это олицетворение роскоши.

Сью: Значит, не шоколадные трюфели — вместо них солидный запас крем-брюле. Доктор Стивен Хокинг, большое вам спасибо за возможность прослушать ваши диски необитаемого острова и счастливого вам Рождества!

Стивен: Спасибо, что выбрали меня. Желаю вам всем счастливого Рождества с моего необитаемого острова. Держу пари, у меня погода лучше, чем у вас.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 5
Первая лекция. Представления о Вселенной 7
Вторая лекция. Расширяющаяся Вселенная 19
Третья лекция. Черные дыры 37
Четвертая лекция. Черные дыры не так уж черны 55
Пятая лекция. Происхождение и судьба Вселенной ... 73
Шестая лекция. Направление времени 97
Седьмая лекция. Теория всего 111

Диски необитаемого острова. *Интервью* 127

Научно-популярное издание

Стивен Хокинг

ТЕОРИЯ ВСЕГО
Происхождение и судьба Вселенной

Ответственный редактор *Татьяна Филатова*
Художественный редактор *Юлия Двоеглазова*
Технический редактор *Виктория Вершинина*
Корректор *Ксения Казак*
Верстка *Ольги Пугачевой*

Подписано в печать 03.04.2009.
Формат издания 60×90 $^{1}/_{16}$. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 10,0. Тираж 7000 экз.
Изд. № 90163. Заказ № 2546.

Издательство «Амфора».
Торгово-издательский дом «Амфора».
197110, Санкт-Петербург,
наб. Адмирала Лазарева, д. 20, литера А.
E-mail: secret@amphora.ru

Отпечатано по технологии CtP
в ИПК ООО «Ленинградское издательство».
195009, Санкт-Петербург, Арсенальная ул., д. 21/1
Телефон/факс: (812) 495-56-10.

Н И К О Л А С Ч И Т Х Э М

ВСЕЛЕННАЯ

ПУТЕВОДИТЕЛЬ ПО ПРОСТРАНСТВУ И ВРЕМЕНИ

Эта книга — незабываемое путешествие через просторы космоса, до самого края нашей Вселенной. Около 200 цветных фотоснимков, сопровождаемых увлекательным комментарием автора, показывают ближний космос таким, каким его увидела целая флотилия спутников и межгалактических зондов: «Кассини», «Дип спейс-1», «Галилео», «Магеллан», «Маринеры», «Марс глобал сервейер», «NEAR–Шумейкер», «Стардаст», SOHO, TRACE, «Викинги» и «Вояджеры». Наблюдения более удаленных областей получены с помощью современных космических телескопов «Хаббл», «Чандра» и «Спитцер».

Итак, мы отправляемся в самое удивительное в вашей жизни путешествие. Перед нами откроется бездна, до 130 миллиардов триллионов километров видимого космоса, — планеты, звезды, туманности, белые карлики, сверхновые, черные дыры и другие обитатели Вселенной. Двигаясь со скоростью света, мы разом перешагнем 385 тысяч километров, отделяющие нас от Луны, в считанные минуты преодолеем расстояние до Меркурия, Венеры, Марса и Солнца, а чтобы добраться до края Солнечной системы, нам понадобится всего лишь несколько часов.

В 1988 году вышла в свет книга «Краткая история времени». Ее автор, знаменитый британский астрофизик Стивен Хокинг, сделавший ряд важных и парадоксальных открытий в теории черных дыр, задался целью приобщить непосвященных к самым волнующим тайнам Вселенной. Книга имела небывалый успех. Более пяти лет она оставалась в списке бестселлеров лондонской «Санди таймс». Хокинг получал множество писем со всех концов света. Читатели надеялись увидеть новую версию книги, еще более доступную и занимательную.

И вот появилась «Кратчайшая история времени». Стивен Хокинг работал над ней вместе с Леонардом Млодиновым, специалистом по теории струн, автором ряда научно-популярных книг и сценаристом научно-фантастического сериала «Звездный путь: новое поколение». В центре внимания авторов — основополагающие проблемы науки и философии. Как возникла Вселенная и куда она движется? Какие силы лежат в основе ее развития? Какова природа пространства и времени? Как наука добыла знания о них и насколько эти знания достоверны? Есть ли надежда создать единую теорию всего сущего? Почему наш мир таков, каким мы его наблюдаем? И быть может, самый интересный вопрос, которым задавался еще Альберт Эйнштейн: обладал ли свободой Господь Бог, когда создавал Вселенную?

Оригинальные и вызывающие идеи Роджера Пенроуза относительно физических явлений Вселенной, мира квантовой механики и физики мышления стимулировали продолжительные дискуссии ведущих мировых ученых, в ходе которых высказывались противоречивые мнения. В книге автор суммирует и обобщает различные точки зрения в сложных сферах науки. Он дает мастерские обобщения для тех областей физики, в которых существует еще множество нерешенных проблем. В качестве оппонентов автору выступают три выдающихся специалиста разных областей науки — Абнер Шимони и Нэнси Картрайт, представляющие философское направление естественных наук, и Стивен Хокинг, известный физик-теоретик и специалист в области космологии. В заключение Роджер Пенроуз отвечает на их провокационный критицизм.

Мы еще многого не знаем о Вселенной, многого не понимаем. Но уже достигнутый нами прогресс должен воодушевить нас и придать уверенности в том, что полное понимание — в границах возможного. Думаю, мы не обречены вечно бродить на ощупь в темноте. Совершив рывок к созданию полной теории Вселенной, мы станем ее истинными хозяевами. Я надеюсь, что Вселенная подчиняется какому-то порядку, который сейчас мы можем постигнуть отчасти, а полностью — не в таком уж далеком будущем. Возможно, эта надежда всего лишь мираж. Но, несомненно, лучше стремиться к полному пониманию, чем отчаяться в человеческом разуме.

Стивен Хокинг

●

Коллекция эссе Стивена Хокинга чарует своей простотой и искренностью, являя нам удивительную многогранность этого уникального человека и ученого.

Observer

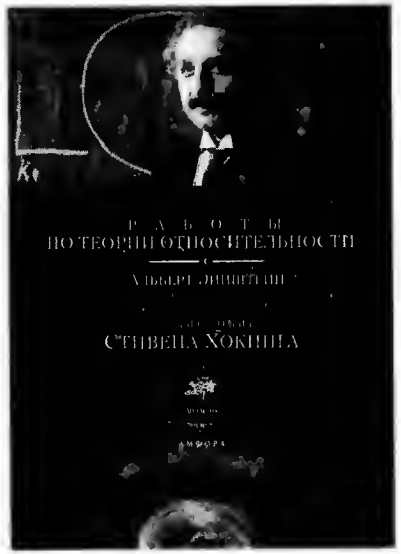
В основу книги «Природа пространства и времени» легла дискуссия между всемирно известными учеными Стивеном Хокингом и Роджером Пенроузом. Эта полемика стала вершиной программы, проведенной в 1994 году в Институте математических наук имени Исаака Ньютона при Кембриджском университете. Она вылилась в обсуждение некоторых наиболее фундаментальных представлений о природе Вселенной. В известном смысле это продолжение знаменитого спора между Нильсом Бором и Альбертом Эйнштейном по основам квантовой механики.

Мне сказали, что каждая включенная в книгу формула вдвое уменьшит число покупателей. Тогда я решил вообще обходиться без формул. Правда, в конце я все-таки написал одно уравнение — знаменитое уравнение Эйнштейна $E = mc^2$. Надеюсь, оно не отпугнет половину моих потенциальных читателей.

Стивен Хокинг

Это также книга о Боге, а может быть, об отсутствии Бога. Хокинг отправляется искать ответ на знаменитый вопрос Эйнштейна о том, был ли у Бога какой-либо выбор, когда он создавал Вселенную. Тем более неожиданным оказывается вывод, к которому приводят эти поиски: Вселенная без края в пространстве, без начала и конца во времени, без каких-либо дел для Создателя.

Карл Саган



Р А Б О Т Ы ПО ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

АЛЬБЕРТ ЭЙНШТЕЙН

Известный главным образом как создатель специальной и общей теории относительности, Альберт Эйнштейн стал, пожалуй, самым знаменитым ученым XX века, воплощением человеческого гения. Он коренным образом изменил наши взгляды на материю, пространство и время. В эту книгу вошли четыре знаменитые статьи Эйнштейна и адресованная широкому читателю «Эволюция физики», написанная им совместно с Леопольдом Инфельдом.

БИБЛИОТЕКА СТИВЕНА ХОКИНГА

О ВРАЩЕНИЯХ НЕБЕСНЫХ СФЕР

НИКОЛАЙ КОПЕРНИК

Когда в 1543 году вышел из печати трактат мало кому известного польского каноника Николая Коперника «О вращениях небесных сфер», немногие понимали, какой переворот суждено произвести ему во взглядах на мироустройство. Провозгласив центром мира Солнце и положив тем самым конец долгому господству геоцентрической модели Аристотеля—Птолемея, учение Коперника направило астрономию по пути великих открытий.

БИБЛИОТЕКА СТИВЕНА ХОКИНГА

СТИВЕН ХОКИНГ

МИР В ОРЕХОВОЙ СКОРЛУПКЕ

Эта новая книга знаменитого английского ученого Стивена Хокинга — замечательное чтение для всех, кто хочет понять, как устроен мир, в котором мы живем. Как и его «Краткая история времени», она была обречена на успех. Ее перевели на 40 языков. По всему миру распродано почти 10 миллионов экземпляров.

Живо и интригующе. Хокинг от природы наделен даром учить и разъяснять, с юмором иллюстрировать крайне сложные понятия аналогиями из повседневной жизни.

New York Times

Эта книга обручает детские чудеса с гениальным интеллектом. Мы путешествуем по вселенной Хокинга, перенесенные туда силой его разума.

Sunday Times

Мастерское обобщение того, что современные физики думают о Вселенной и том, как она стала такой.

Wall Street Journal

Живо и остроумно… Позволяет широкому читателю почерпнуть глубокие научные истины из первоисточника.

New Yorker

Стивен Хокинг — мастер ясности… Трудно представить, чтобы кто-то другой из ныне живущих доходчивее изложил устрашающие профана математические выкладки.

Chicago Tribune

Наверное, лучшая научно-популярная книга по астрофизике. Спасибо, доктор Хокинг!

Booklist

По человеческим меркам наша планета невероятно стара: четыре с половиной миллиарда лет — это такой отрезок времени, по сравнению с которым вся история человечества кажется лишь кратким мгновением. Геологические временные шкалы столь обширны, что только по аналогии можно получить некоторое представление о бездне времени, отделяющем нас от возникновения Земли. Одна из таких аналогий представляет историю Земли в виде трехчасового фильма. По этому сценарию мы, люди — как вид, конечно, — торжественно появились бы в кадре лишь в последнюю секунду. Эту книгу, подобно трехчасовому фильму, можно считать кратким путешествием, посвященным истории планеты Земля — от возникновения Солнечной системы до наших дней. Причем путешествием действительно очень кратким: чтобы овладеть всеми известными подробностями захватывающего прошлого Земли, понадобится по крайней мере несколько человеческих жизней.

По вопросам поставок обращайтесь:

Книжный клуб «36'6»

107078, Москва,

Рязанский пер., д. 3

Тел.: (495) 926-45-44

E-mail: club366@club366.ru

Информация в Интернете: www.club366.ru

Эта книга включает семь лекций знаменитого английского ученого и популяризатора науки Стивена Хокинга, отмеченных характерным для него юмором и умением просто говорить о самом сложном. Он перекидывает мостик от древнейших представлений об устройстве Вселенной к современным воззрениям, переходя от Большого Взрыва и природы пространства-времени к черным дырам и теории струн. Но более всего Хокинга занимает перспектива создания великой объединенной теории, теории всего.

366 книжный клуб

издательство амфора

WWW.AMPHORA.RU

9 785367 009910

ISBN 978-5-367-00991-0